# Guía Práctica de Sensores

**Antonio Serna Ruiz - Francisco Antonio Ros García**
**Juan Carlos Rico Noguera**



Guía práctica de sensores
© Antonio Serna Ruiz,
Francisco Antonio Ros García y Juan Carlos Rico Noguera

Obra catalogada en los grupos 377, 62, 537 y 621.3 del ISBN correspondiente a las materias de ENSEÑANZAS TÉCNICAS, TECNOLOGÍA , ELECTRICIDAD y ELECTRÓNICA.







www.creacionescopyright.com
ediciones@creacionescopyright.com

ISBN: 978-84-92779-49-9
Depósito Legal:

Directora General: María Teresa Gómez-Mascaraque Pérez
Directora Financiera: Mónica Elvira San Cristóbal
Directora de Producción: Clara Mª de la Fuente Rojo
Directora Dpto. Att. al Cliente: Mª Carmen Roncero Ortega

Diseño de cubierta: Pontytexto

Preimpresión:

Impresión:

Impreso en España – Printed in Spain

(340-139/0610)

# ÍNDICE

You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

# LOS SENSORES Y SU CLASIFICACIÓN



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

- **Presión:** son aquellos que experimentan variaciones en función de la presión a que son sometidos.
- **Movimiento:** son aquellos que experimentan variaciones en función de los movimientos a que son sometidos.
- **Químicos:** son aquellos que experimentan variaciones en función de los agentes químicos externos que pudieran incidir sobre ellos.

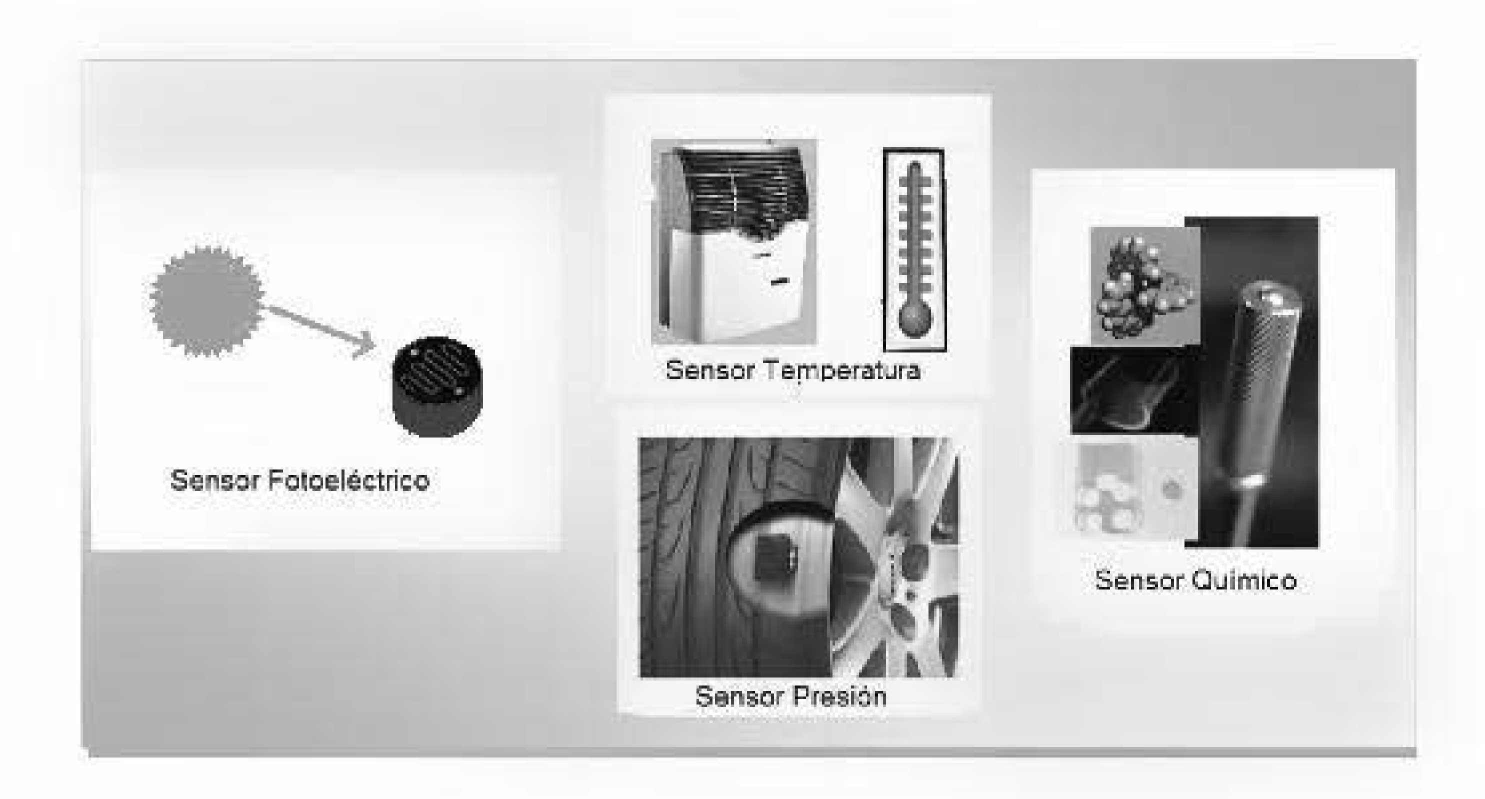



**Figura 1.3. Sensores atendiendo a la naturaleza de funcionamiento**

## Atendiendo a los elementos utilizados en su fabricación

- **Mecánicos:** son aquellos que utilizan contactos mecánicos que se abren o cierran.
- **Resistivos:** son aquellos que utilizan en su fabricación elementos resistivos.
- **Capacitivos:** son aquellos que utilizan en su fabricación condensadores.
- **Inductivos:** son aquellos que utilizan en su fabricación bobinas.
- **Piezoeléctricos:** son aquellos que utilizan en su fabricación cristales como el cuarzo.
- **Semiconductores:** son aquellos que utilizan en su fabricación semiconductores.

# CIRCUITOS ACONDICIONADORES DE SEÑAL



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

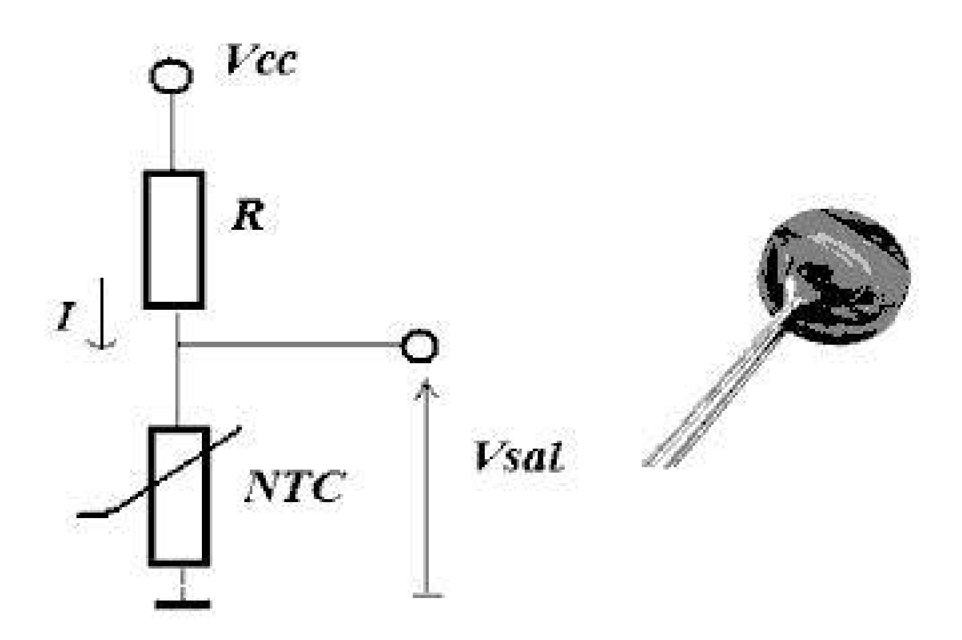



**Figura 2.3. Circuito divisor de tensión con termistor**

### Puente de Wheatstone

Es un circuito formado generalmente por cuatro resistencias, a modo de dos divisores de tensión, de manera que tres de ellas son conocidas y una cuyo valor es desconocido o varía en función de determinados factores, temperatura, luz, etc. Este circuito es alimentado por una tensión y su salida será nula siempre que esté en equilibrio, es decir, que las cuatro resistencias sean de igual valor o que exista una relación igual entre las resistencias de cada divisor ($R1/R2 = R_{NTC}/R3$).

Los sensores que utilizan el puente de Wheatstone como acondicionador suelen ser los del tipo resistivo como termistores y LDR.

La *Figura 2.4* muestra un puente de Wheatstone donde se ha puesto un sensor de temperatura (termistor NTC) en lugar de la resistencia cuyo valor se desconoce. Si se toma el valor resistivo de la NTC para una temperatura determinada y se ponen las otras tres resistencias iguales, el puente estará equilibrado para esa temperatura y la tensión de salida será nula. Cuando la temperatura aumente, el valor resistivo de la NTC bajará y se producirá un desequilibrio en el puente, apareciendo una tensión a la salida.

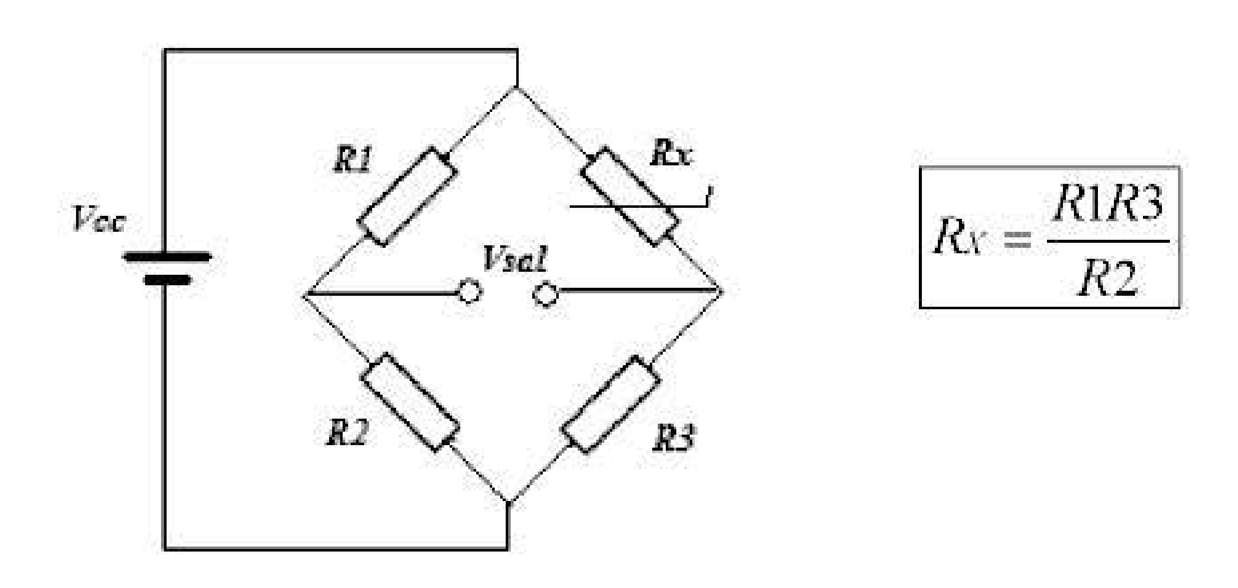



**Figura 2.4. Circuito en puente de Wheatstone con termistor**

Cuando la salida de los sensores es muy pequeña, se suelen utilizar amplificadores operacionales de instrumentación como el AD524 o el AD623.

**Multivibradores Astables**

Los sensores del tipo capacitivos suelen ser algo especiales en cuanto al tratamiento de las señales que proporcionan. La variación de determinadas magnitudes físicas producen variaciones de la capacidad del sensor y la mejor forma de procesar esta variación es incorporando al sensor dentro de un puente de Wheatstone de condensadores, o lo que es más usual, incorporándolo en una red RC asociada a un circuito multivibrador, de tal manera que las variaciones de la capacidad produzcan a su vez variaciones de la frecuencia de la señal a la salida del circuito acondicionador.

La *Figura 2.8* presenta dos circuitos multivibradores con integrados diferentes, pero que ofrecen un funcionamiento similar a la hora de servir de acondicionadores de un sensor del tipo capacitivo.

| 555 | 741 |
|---|---|
| $t_H$ = ln2 (R1+R2) .C<br>$t_L$ = ln2 (R2) .C<br>T = $t_H$ + $t_L$<br>F = 1/T | T = 2R1.C. ln (1+(2R2/R3))<br>F = 1/T |

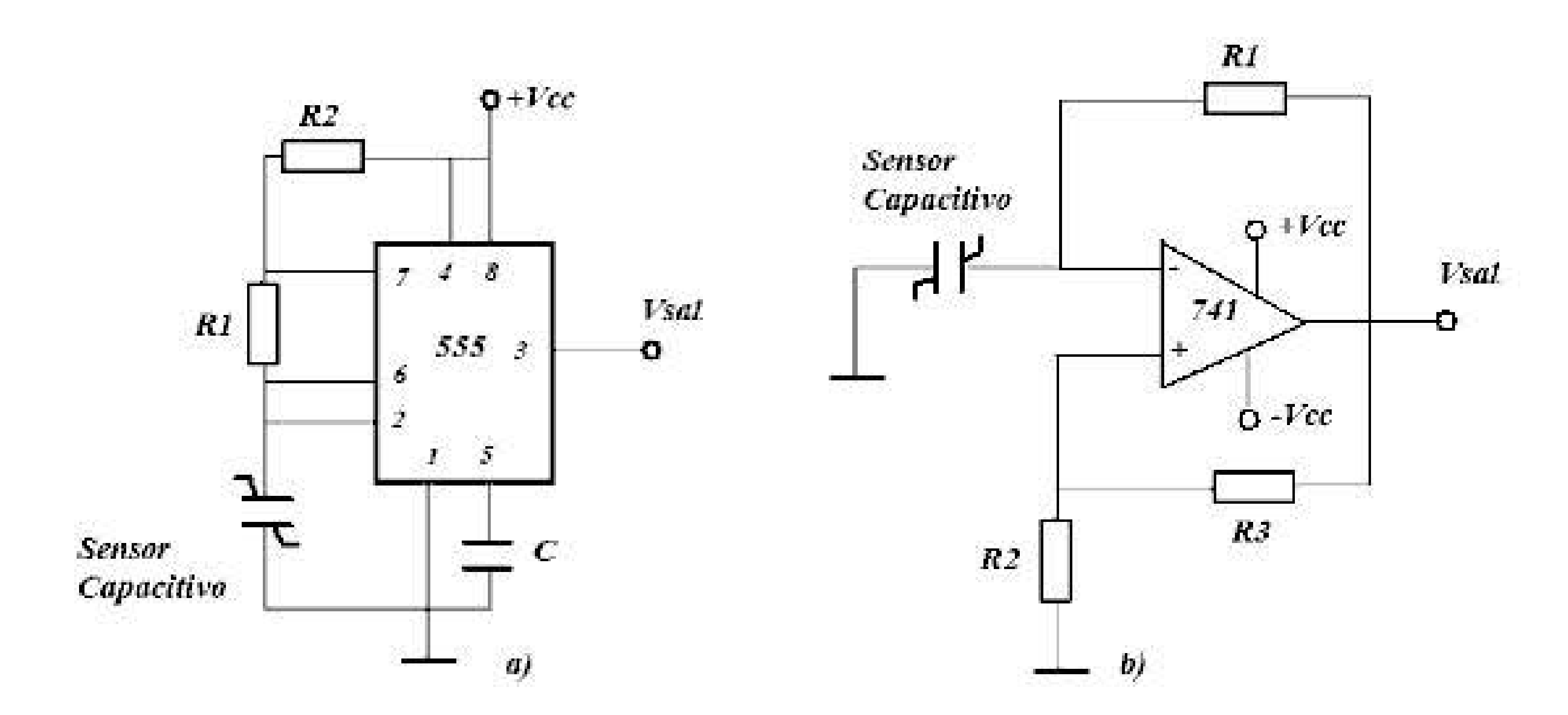



**Figura 2.8. Circuitos acondicionadores multivibradores**

# SENSORES DE CONTACTO PASIVOS



Se utilizan en robótica para detección de obstáculos por contacto directo, aunque no son adecuados para robots de alta velocidad ya que cuando detectan el obstáculo no les da tiempo a frenar. La *Figura 3.4* muestra un microrrobot que incorpora dos bumpers en su parte delantera para detección de obstáculos.

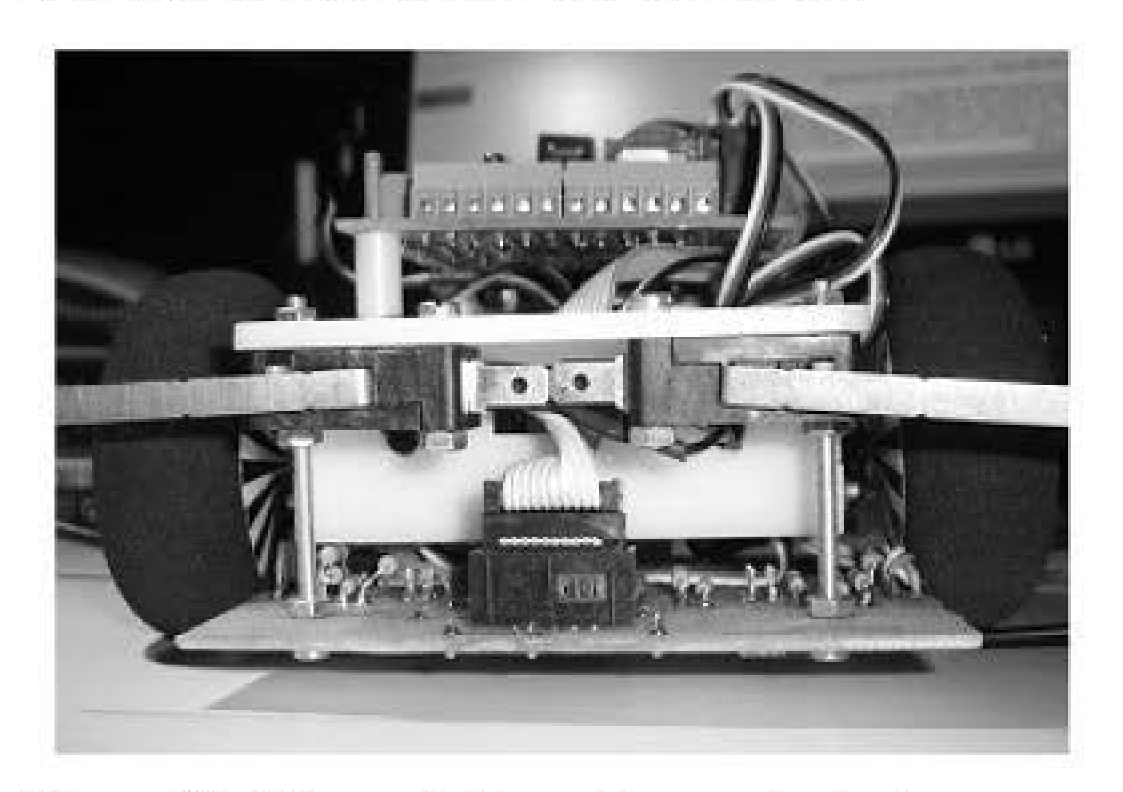


**Figura 3.4. Microrrobot que dispone de dos bumpers**

La configuración más utilizada como circuito actuador es la **pull-up** en combinación con una resistencia de valor medio alto (4 K7 a 10 K) y un condensador de 100 nF para actuar como circuito antirrebotes, de manera que podemos hacer que en reposo tengamos un "1" lógico (+Vcc) o un "0" lógico (masa) (*Figura 3.5*).

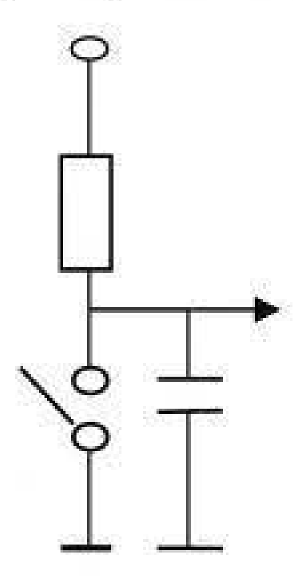


**Figura 3.5. Configuración pull-up para bumper**

## 1.3. CIRCUITO DE APLICACIÓN DE UN BUMPER

Como ya se mencionó, una de las aplicaciones más utilizadas para los sensores mecánicos de contacto son los finales de carrera. La *Figura 3.6* muestra un circuito donde la activación del bumper supone un cambio de giro del motor.

**Ajustes**

Valiéndonos del potenciómetro R6, se debe ajustar el circuito para que Q1 se sature cuando exista luz solar y que pase a corte en caso de ausencia de luz solar. La LDR utilizada proporciona una resistencia de 150 Ω con luz solar y 3 KΩ con luz interior, pasando a varias decenas de KΩ en ausencia de luz. Para verificar que Q1 está en corte o saturación podemos utilizar un polímetro y medir la tensión entre colector-emisor. Si esta tensión está por debajo de 1 V, el transistor estará en saturación y si por el contrario es cercana a la tensión de alimentación (5 V), entonces estará en corte.

**Funcionamiento**

La resistencia LDR será el sensor que saturará al transistor Q1 cuando exista luz solar, de manera que el optotransistor integrado en el 4N25 no conducirá, en esta situación el transistor Q2 no conduce y esto hará que el relé haga rotar el motor en un sentido.

En ausencia de luz, la LDR tendrá una alta resistencia por lo que Q1 estará en corte, esto hará que conduzca el optotransistor y sature el transistor Q2, de manera que el relé conmutará haciendo cambiar el sentido de giro del motor.

Si queremos implementar el circuito, sería necesario añadir unos finales de carrera para hacer parar el motor una vez la persiana está totalmente subida o bajada.

Se debe observar que se han utilizado tensiones diferentes para el circuito del sensor y el del motor. Esto es interesante para aislar ambos circuitos eléctricamente mediante el optotransistor 4N25 y evitar que el motor interfiera sobre Q1, no obstante, este dispositivo también podría funcionar con una tensión única de 12 V y no habría necesidad de utilizar el 4N25.

## 1.5. PROPUESTA Y OTROS DISPOSITIVOS

*Se propone diseñar y montar un sencillo interruptor crepuscular, de manera que cuando exista luz funcione la LDR al contrario, es decir, que el transistor Q1 esté en corte. Este transistor tendrá como resistencia de colector el bobinado de un relé de 12 V.*

*Una vez montado el circuito medir las corrientes de colector del transistor y la corriente por la LDR, así como la tensión colector-emisor del transistor y la de la resistencia LDR. Estas medidas se realizarán con el relé en reposo y activado.*

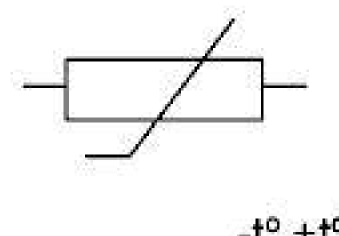
## 1.1. INTRODUCCIÓN

La temperatura es una magnitud de gran importancia, ya que muchas propiedades de los materiales dependen de ésta, en general, aumentos de temperatura en un conductor conllevan aumento de la corriente eléctrica.

Existen unos tipos de semiconductores cuyo funcionamiento viene dado por la modificación de la resistencia eléctrica en función de las variaciones de temperatura, estos son los **termistores,** que pueden ser de dos tipos: **NTC** (Negative Temperature Coefficient), **PTC** (Positive Temperature Coefficient).

Al aumentar la temperatura de un cuerpo, lo hace también el número de portadores reduciéndose la resistencia (coeficiente de temperatura negativo, **NTC**). Esta dependencia varía con la concentración de impurezas. Si el dopado es muy fuerte, el semiconductor adquiere propiedades metálicas y presenta un coeficiente de temperatura positivo (**PTC**), aumentando la resistencia en un margen de temperaturas limitado.

Se representan mediante el siguiente símbolo:



-t° +t°

Su funcionamiento responde a la siguiente ecuación:

$$R_T = R_0 e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}$$

Donde $R_0$ es la resistencia a 25 °C u otra temperatura de referencia, $T_0$ es dicha temperatura expresada en kelvin y B es una constante propia de cada termistor. Las variaciones por tanto son de tipo exponencial.

El rango de temperaturas y valores de resistencia donde son utilizados fundamentalmente es entre los -100 °C y los 300 °C. En la mayoría de aplicaciones el valor de resistencia a 25 °C está entre 100 Ω y 100 kΩ. Aunque se pueden producir con resistencias tan bajas como 10 Ω o tan altas como 40 MΩ.

## 1.2. TERMISTORES NTC

Un termistor **NTC** está constituido por un cuerpo sinterizado policristalino de óxido de los metales manganosos, níquel, hierro, cobalto, cobre, entre otros. Estos termistores son sumamente sensibles y son capaces de registrar cambios de temperatura muy pequeños, son por tanto los más utilizados (*Figura 5.1*).

transistor hará que éste se sature y por tanto conmute el relé, instante en el cual se pondrá a funcionar el ventilador.

## 1.5. PROPUESTA Y OTROS DISPOSITIVOS

*La propuesta va a ser sencilla, en este caso se trata de diseñar nuevamente el circuito de la Figura 5.5 utilizando un termistor PTC. Se debe observar que ahora la resistencia aumentará con la temperatura, por lo que habría que intercambiar en el puente de Wheatstone el potenciómetro por la resistencia PTC, de manera que las condiciones de funcionamiento fuesen idénticas.*

*Para mejor comprensión del funcionamiento se debe hacer una tabla con las siguientes medidas: tensión en las patillas 2, 3 y 6 del operacional referidas a masa y la corriente de colector del transistor, antes y después de alcanzar la temperatura fijada para la activación del relé.*

### Otros dispositivos de mercado

| Referencia | Características |
|---|---|
| 01M1002JF | NTC de 10 K ±10% |
| 44011RC | NTC de 100 K ±1% |
| LT300014T2610KJ | PTC de 10 K ±5% |
| 238166052711 | PTC de 6 Ω ±25% |

**Figura 5.6. Termistores comerciales**

# SENSORES DE TEMPERATURA INTEGRADOS



## 1.1. INTRODUCCIÓN

Aparte de los termistores existen otros dispositivos integrados cuyo comportamiento depende de las variaciones de la temperatura, a estos dispositivos se les llamará sensores de temperatura y por lo tanto se deben incluir en estos sensores todo tipo de detectores cuya función sea medir la temperatura. Esta función se puede medir a raíz de determinados fenómenos: dilatación de cuerpos sólidos, líquidos o gaseosos, cambio de la resistencia o de la conductividad, cambio de la diferencia de potencial expresado en tensión eléctrica, cambio de la frecuencia propia del cuarzo en función de la temperatura, emisión y de adsorción de rayos infrarrojos, etc.

En esta unidad se estudiarán aquellos sensores cuyo funcionamiento viene dado por la modificación de la resistencia eléctrica o conductividad de su material en función de las variaciones de temperatura.

A diferencia de los termistores (NTC y PTC), estos elementos no funcionan únicamente como consecuencia de la variación de su resistencia con la temperatura, sino que experimentan determinados cambios en su conductividad, de manera que proporcionan a su salida variaciones de magnitudes de tipo analógico como tensión o corriente y también de tipo digital, es decir, magnitudes expresadas en binario con un determinado número de bits.

## 1.2. EL SENSOR ANALÓGICO LM335

Es un sensor de temperatura con una precisión calibrada de 1 °C y un rango que abarca desde -40° a +100 °C. Se presenta en diferentes encapsulados pero el más común es el TO-92 (*Figura 6.1*), dos de ellas para alimentarlo y la tercera nos entrega un valor de tensión proporcional a la temperatura medida por el dispositivo.

Trabaja como un diodo zener cuyo voltaje de ruptura es directamente proporcional a la temperatura. Por cada grado centígrado de temperatura, el LM335 varía su voltaje en 10 mV, presentando una lectura de 0 voltios a 0 °K (−273 °C) y puede proporcionar corrientes entre 400 µA y 5 mA.

Si la salida es lineal y equivale a 10 mV/°C, tenemos que:

- A 100 °C, en sus extremos tendremos +1.000 mV.
- A 25 °C, en sus extremos tendremos +250 mV
- A -40 °C, en sus extremos tendremos -400 mV.

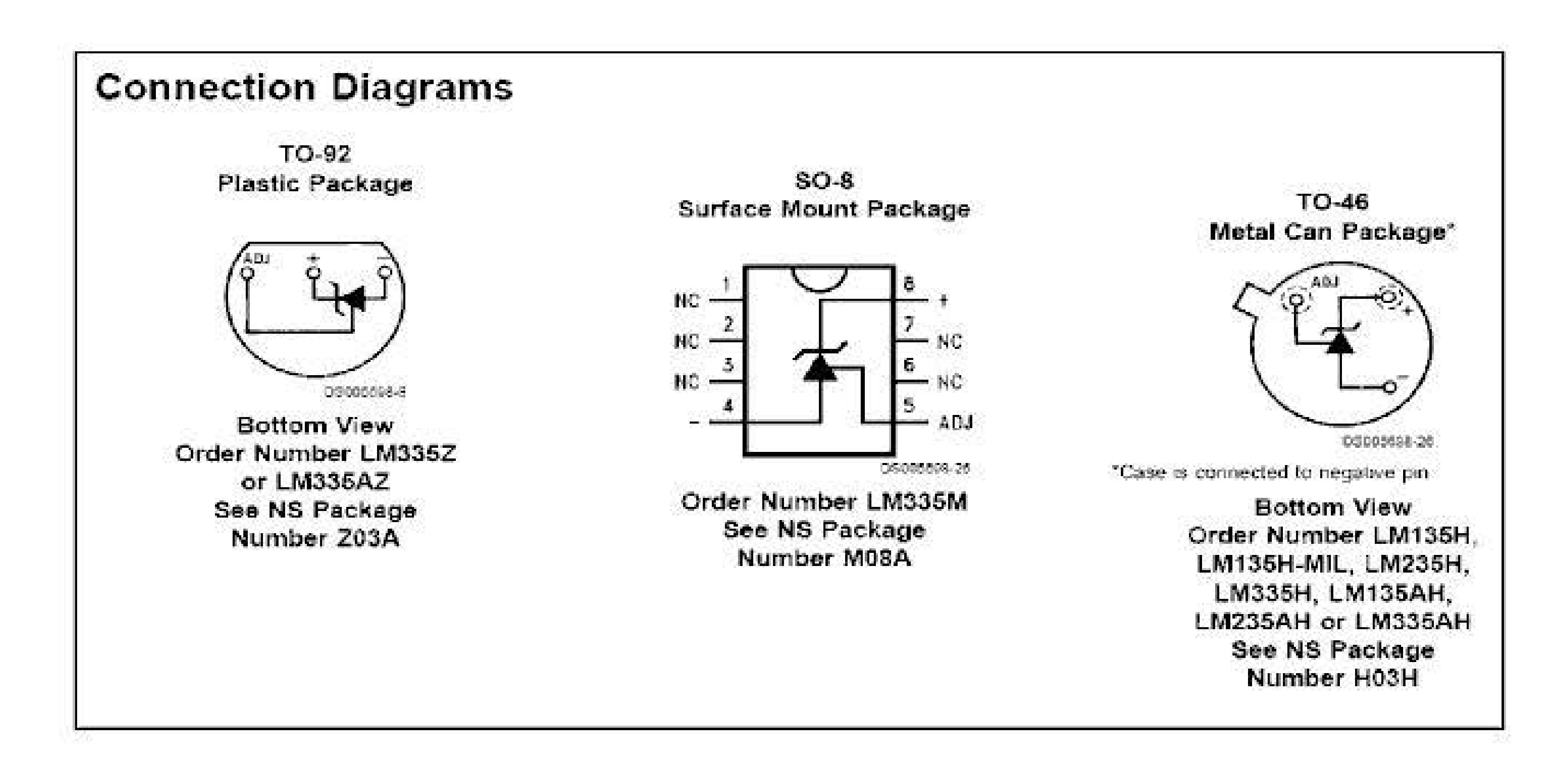



**Figura 6.1. Patillaje y encapsulados del LM335**

Debemos observar que la patilla de ajuste tiene la función de calibrado del sensor, esto se debe hacer a 0 °K, temperatura a la cual debería dar 0 voltios a la salida. Evidentemente esto no es algo fácil de realizar, por ello el fabricante nos proporciona una ecuación para poderlo hacer en otra temperatura, preferiblemente a la temperatura ambiente más usual a la que se trabaje.

$$V_{out} = V_{out_{T0}} \cdot \frac{T}{T_0}$$

$T_0$, es la temperatura de referencia.

T, es la temperatura de trabajo.

$$K = {}^{o}C + 273{,}15$$

K, es la temperatura en kelvin.

C, es la temperatura en centígrados.

De una manera más sencilla, aunque menos rigurosa, podemos calibrarlo a una temperatura de 25 °C, o la más próxima a la ambiente, de manera que a esa temperatura debería tener a la salida 250 mV.

En las características que nos facilita el fabricante aparecen los siguientes circuitos típicos de aplicación:

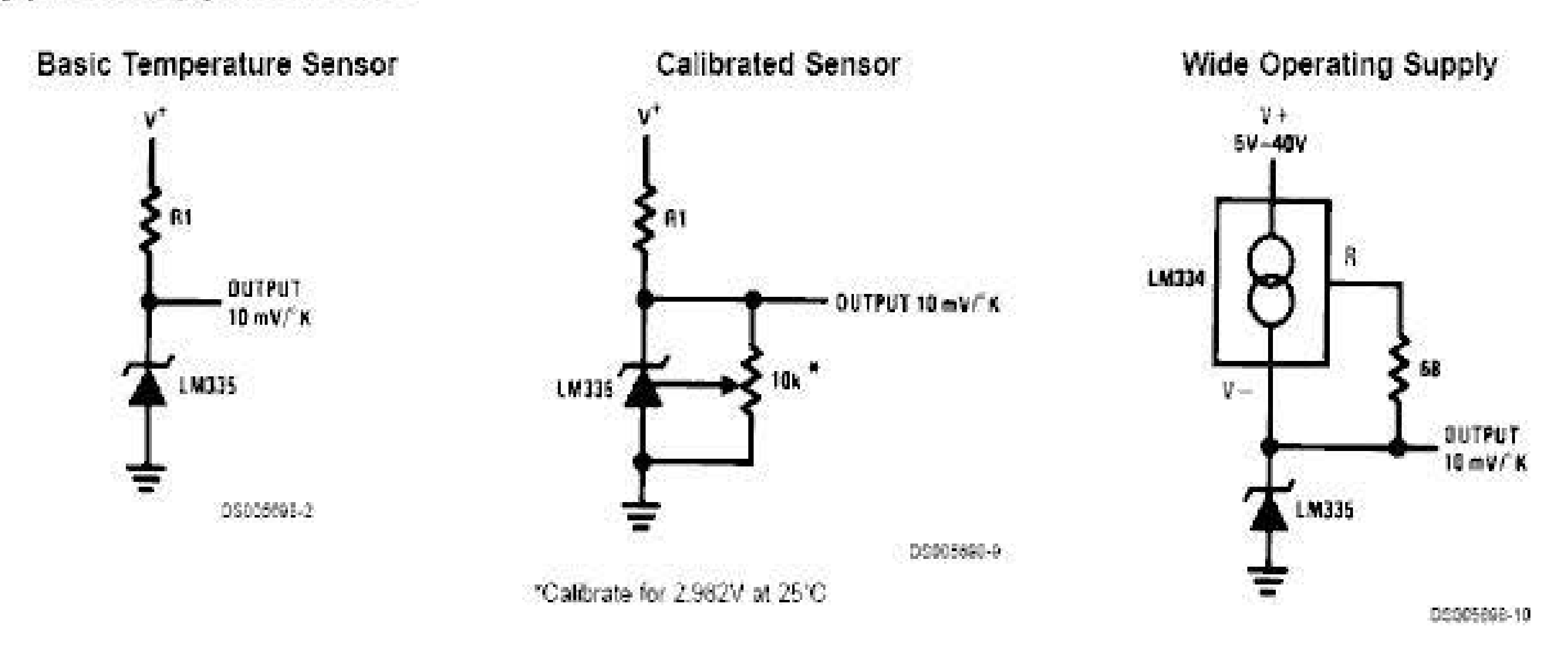



**Figura 6.2. Circuitos de aplicación para el LM335**

## 1.3. CIRCUITO DE APLICACIÓN CON EL LM335

Como aplicación para este dispositivo vamos a presentar un circuito que nos dé un aviso acústico mediante un zumbador y un aviso luminoso mediante una lámpara de 220 voltios de corriente alterna, cuando la temperatura exceda de 35 °C (*Figura 6.3*). Es fácil buscarle la aplicación a este dispositivo, ya que la temperatura de aviso puede ser modificada, así se podría aplicar a invernaderos, calefactores, etc.

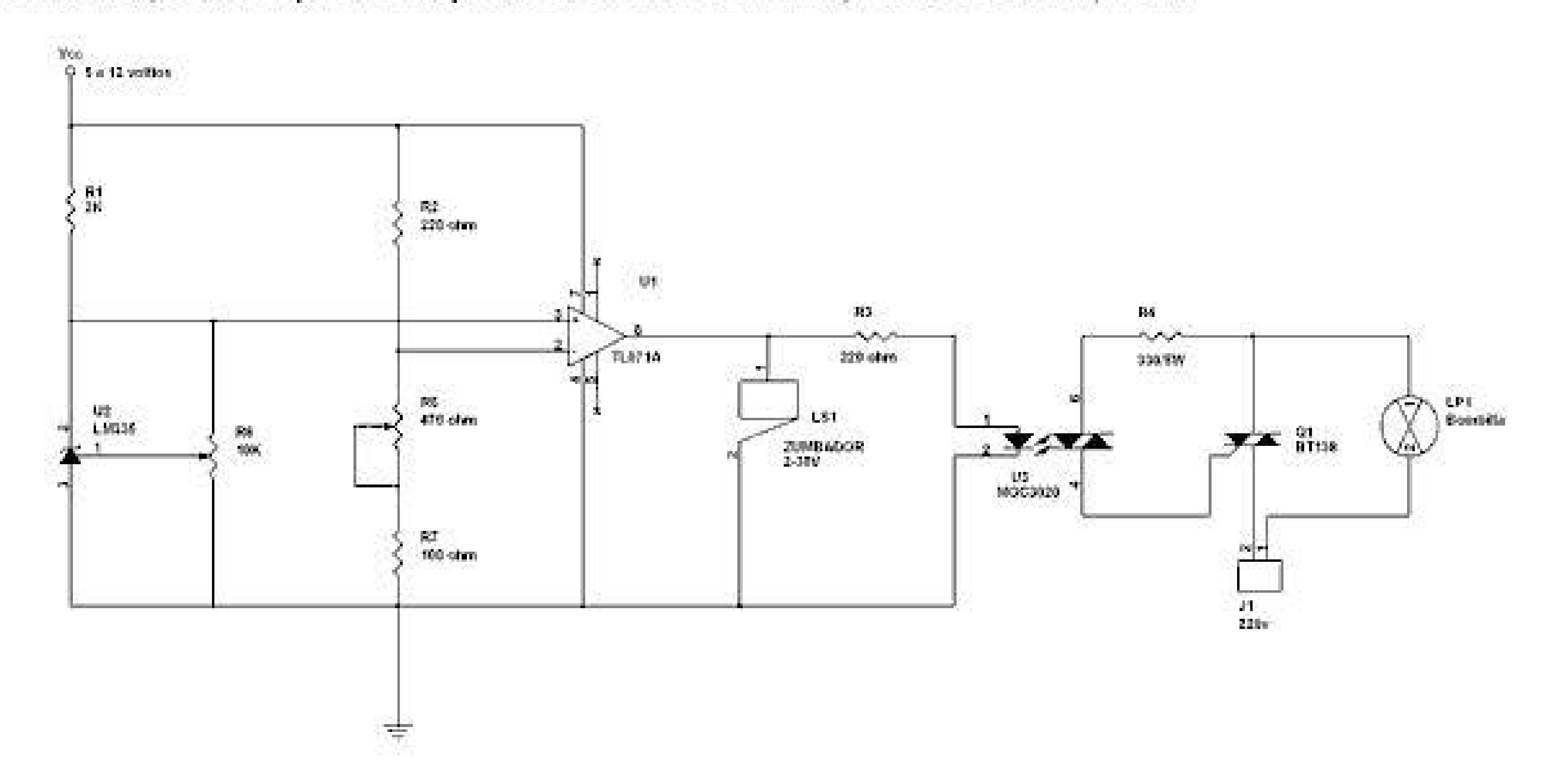



**Figura 6.3. Circuito para el control de temperatura con el LM335**

**Ajustes**

- Conformamos un divisor de tensión entre el LM335 y la resistencia R1, de manera que en la patilla no inversora (3) del amplificador operacional TL071, se establezca una tensión fija a la temperatura ambiente de trabajo (25 ºC), para ello utilizaremos el potenciómetro de ajuste R6 y según el fabricante se deberían obtener 2,982 V a 25 ºC.
- Seguidamente se debe fijar una tensión en la patilla inversora (2) que corresponda a la que debe haber en la patilla no inversora cuando se alcance la temperatura de aviso. Si deseamos que el aviso se produzca a los 35 ºC, como el LM335 aumenta su tensión a la salida en 10 mV por cada grado centígrado, la tensión en la patilla inversora debe ser 100 mV superior a la patilla (3), es decir 3,082 V.
- Debemos observar que el TL071 está alimentado asimétricamente, en principio esto no es problema, ya que estos operacionales funcionan bastante bien de esta forma, pero si hay problemas se puede utilizar un potenciómetro de 10 k para la corrección de la tensión de offset colocado entre las patillas 1 y 5 del operacional, o bien sustituirlo por un LM358A.

**Funcionamiento**

Realizados los ajustes anteriores la salida del operacional debe ser de 0 voltios, por lo que los circuitos posteriores permanecerán en reposo. Ahora bien, cuando la temperatura supere los 35 ºC, la tensión de la patilla no inversora (3) pasará a ser mayor que la de la inversora (2), haciendo que el operacional proporcione a su salida +Vcc. Esto hará que el zumbador emita una señal acústica.

La siguiente parte del circuito presenta un aislamiento eléctrico mediante el optotriac MOC3020. Como consecuencia de la aparición de una corriente por R3, el optotriac conducirá cebando el triac BT138, de manera que la bombilla también se encenderá. Se recuerda que la disposición de A1 y A2 del triac es importante para que conduzca.

Para elevar la temperatura se puede utilizar un soldador de estaño sin problemas, tocando directamente el encapsulado del LM335.

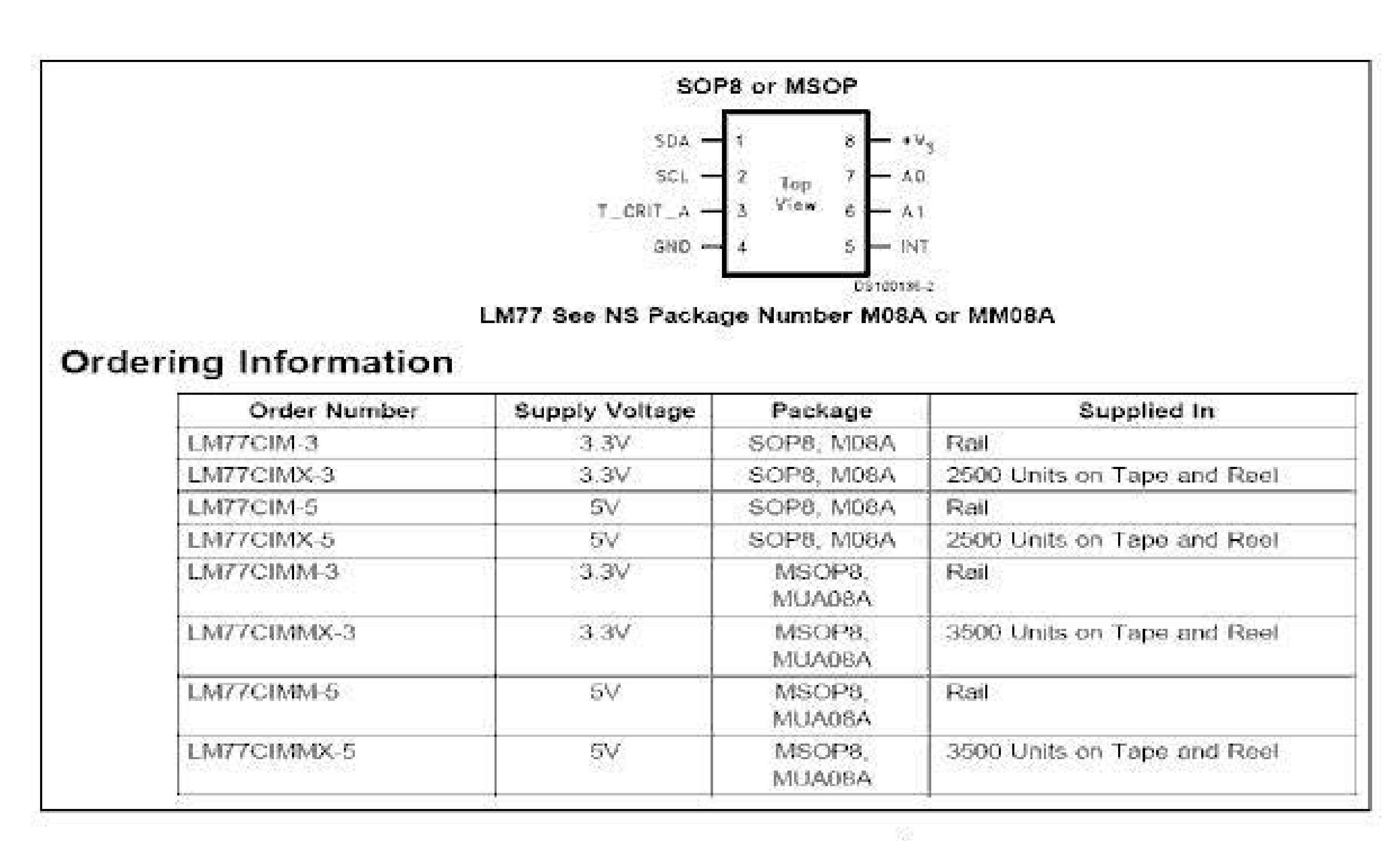
## 1.4. EL SENSOR DIGITAL LM77

El LM77 es un sensor para medir la temperatura de tipo digital, provisto de un bus I2C. Una Interrupción de salida (**INT**) se activa siempre que la temperatura exceda de la que se ha programado, así mismo dispone de una Alarma Crítica (**T_CRIT_A**), la cual activa la salida cuando la temperatura excede un límite programable crítico. La salida INT puede funcionar en modo comparador o en el modo de acontecimiento, mientras la salida T_CRIT_A funciona sólo en modo comparador. Dispone de dos pines (**A0, A1**) para la selección de dirección. Su trabajo típico es entre -10 °C y 64 °C con una desviación de ±1,5 °C, teniendo como temperatura crítica 80 °C, aunque

su rango máximo de trabajo es entre -55 °C y 125 °C con una desviación de ± 3 °C. Su tensión de trabajo es de 3 V a 5,5 V, con corrientes entre 250 µA y 500 µA, y proporciona información con 9 bits más el de signo.

Las aplicaciones más usuales son como elemento de protección para ordenadores personales, en equipos electrónicos de oficina, automóvil, etc.

La *Figura 6.4* muestra datos sobre el encapsulado proporcionados por el fabricante:




Ordering Information

| Order Number | Supply Voltage | Package | Supplied In |
|---|---|---|---|
| LM77CIM-3 | 3.3V | SOP8, M08A | Rail |
| LM77CIMX-3 | 3.3V | SOP8, M08A | 2500 Units on Tape and Reel |
| LM77CIM-5 | 5V | SOP8, M08A | Rail |
| LM77CIMX-5 | 5V | SOP8, M08A | 2500 Units on Tape and Reel |
| LM77CIMM-3 | 3.3V | MSOP8, MUA08A | Rail |
| LM77CIMMX-3 | 3.3V | MSOP8, MUA08A | 3500 Units on Tape and Reel |
| LM77CIMM-5 | 5V | MSOP8, MUA08A | Rail |
| LM77CIMMX-5 | 5V | MSOP8, MUA08A | 3500 Units on Tape and Reel |

**Figura 6.4. Encapsulado y características del LM77**

### Función de las patillas

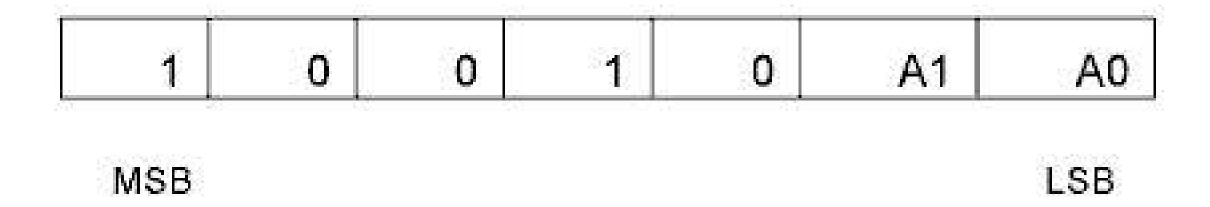
- **SDA**: línea de datos serie de tipo bidireccional.
- **SCL**: entrada de reloj.
- **T_CRIT_A**: salida de alarma crítica.
- **INT**: interrupción de salida por alcanzar la temperatura programada.
- **$A_0$-$A_1$**: entradas de selección de dirección.

La configuración de funcionamiento por defecto es la siguiente:

- Interrupción en modo Comparador.
- TLOW  10 °C.
- THIGH  64 °C.

- T_CRIT 80 °C.
- THYST 2 °C.
- INT y T_CRIT_A, activos a nivel bajo "0".
- Registro de Puntero de configuración en modo lectura de Temperatura.

La dirección utilizada por estos componentes para trabajar en I2C es como sigue:



| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | A1 | A0 |
| MSB | | | | | | LSB |

De esta manera con los bits A1-A0, podemos direccionar hasta 4 dispositivos de esta misma clase, llevando estas líneas a masa o +Vcc.

La tabla que nos facilita el fabricante para la presentación de las lecturas es la siguiente:

| Temperatura | Salida Digital | |
|---|---|---|
| | Binario | Hexadecimal |
| +130 °C | 01 0000 0100 | 104h |
| +125 °C | 00 1111 1010 | 0FAh |
| +25 °C | 00 0011 0010 | 032h |
| +0,5 °C | 00 0000 0001 | 001h |
| 0 °C | 00 0000 0000 | 000h |
| −0,5 °C | 11 1111 1111 | 3FFh |
| −25 °C | 11 1100 1110 | 3CEh |
| −55 °C | 11 1001 0010 | 392h |

En las características del fabricante podemos encontrar la tabla de la *Figura 6.5* que nos muestra la estructura de los registros de configuración y trabajo de este sensor:

## 1.0 Functional Description (Continued)

**1.9 POINTER REGISTER**

(Selects which registers will be read from or written to):

| P7 | P6 | P5 | P4 | P3 | P2 | P1 | P0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Register Select | | |

P0–P2: Register Select:

| P2 | P1 | P0 | Register |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | Temperature (Read only) (Power-up default) |
| 0 | 0 | 1 | Configuration (Read/Write) |
| 0 | 1 | 0 | $T_{HYST}$ (Read/Write) |
| 0 | 1 | 1 | T_CRIT (Read/Write) |
| 1 | 0 | 0 | $T_{LOW}$ (Read/Write) |
| 1 | 0 | 1 | $T_{HIGH}$ (Read/Write) |

P3–P7: Must be kept zero.

**1.10 TEMPERATURE REGISTER**

(Read Only):

| D15 | D14 | D13 | D12 | D11 | D10 | D9 | D8 | D7 | D6 | D5 | D4 | D3 | D2 | D1 | D0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sign | Sign | Sign | Sign | MSB | Bit 7 | Bit 6 | Bit 5 | Bit 4 | Bit 3 | Bit 2 | Bit 1 | Bit 0 | CRIT | HIGH | LOW |
| | | | | | | | | | | | | | Status Bits | | |

D0–D2: Status Bits

D3–D15: Temperature Data. One LSB = 0.5°C. Two's complement format.

**1.11 CONFIGURATION REGISTER**

(Read/Write):

| D7 | D6 | D5 | D4 | D3 | D2 | D1 | D0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | Fault Queue | INT Polarity | T_CRIT_A Polarity | INT Mode | Shutdown |

D0: Shutdown - When set to 1 the LM77 goes to low power shutdown mode. Power up default of "0".

D1: Interrupt mode - **0** is Comparator Interrupt mode, 1 is Event Interrupt mode. Power up default of "0".

D2, D3: T_CRIT_A and INT Polarity - 0 is active low, 1 is active high. Outputs are open-drain. Power up default of "0"

D4: Fault Queue - When set to 1 the Fault Queu is enabled, see *Section 1.7*. Power up default of "0".

D5–D7: These bits are used for production testing and must be kept zero for normal operation.

**Figura 6.5. Registros del LM77**

## 1.5. EL PROTOCOLO I2C

El protocolo I2C fue creado por Philips para cubrir ciertas necesidades internas, pero posteriormente ha sido adoptado por otros dispositivos, especialmente microcontroladores, y adaptado a determinadas aplicaciones donde debe existir una intercomunicación del tipo serie entre diferentes dispositivos. Este protocolo utiliza únicamente dos líneas para la comunicación, una bidireccional para datos y direcciones **SDA** y otra como reloj para sincronizar el sistema **SCL**. Estas líneas deben estar conectadas a alimentación mediante resistencias de Pull-up.

La esencia de la comunicación es que exista un dispositivo que actúe como maestro, aunque podrían ser más de uno, y varios que funcionen como esclavos. El

maestro sería el que marcaría en todo momento la comunicación, de manera que determinaría el esclavo con el que va a trabajar y las operaciones de lectura o escritura de datos, siendo también el responsable de generar la señal de reloj SCL.

Los pasos a seguir para una comunicación I2C serían los siguientes:

1. La frecuencia máxima para esta comunicación es de 100 KHz, con unos semiperiodos mínimos de 4 µs para la parte alta y 4,7 µs para la baja.
2. La transmisión constará de un bit de arranque y otro de parada, entre los cuales irán las direcciones de los dispositivos con los que se va a trabajar y los datos. Siempre a cargo del maestro.
   - Condición de **arranque** SCL="1" y SDA pasa de "1" → "0".
   - Condición de **parada** SCL="1" y SDA pasa de "0" → " 1".
3. El direccionamiento es el primer byte que se envía y constará de 7 bits para indicar la dirección del dispositivo con el que se va a trabajar, seguido de un bit, el de menor peso (**R/W**), que indicará si la operación va a ser de escritura "0" o lectura "1".
4. Los datos se enviarán con formato de 8 bits significativos más un noveno bit de validación **ACK**. Siempre se comienza la transmisión por el bit de mayor peso.
5. La señal de validación tiene las siguientes particularidades:
   - El dispositivo transmisor pondrá la línea SDA a "1".
   - El dispositivo receptor pondrá la línea SDA a "0", validándola éste obligatoriamente.
   - Cuando el receptor sea el maestro, deberá generar un ACK="0" con cada byte recibido, excepto con el último, que mantendrá ACK="1" y generará la condición de parada.
6. Los bits de datos serán validados con los niveles altos de la señal de reloj, por lo que deberán cambiar cuando la señal esté a nivel bajo.
7. Por tanto las secuencias serían:

   a. Escritura

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Bit Arranque | Dir. Esclavo (7bits) | R/W="0" | ACK | Datos (8bits) | ACK | Bit Parada |

   b. Lectura

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Bit Arranque | Dir. Esclavo (7bits) | R/W="1" | ACK | Datos (8bits) | ACK | Bit Parada |

## 1.6. CIRCUITO DE APLICACIÓN CON EL LM77

Como aplicación para el sensor LM77 vamos a realizar la misma propuesta que se hizo con el LM355. Para gestionar los datos de temperatura y generar las respuestas vamos a utilizar un microcontrolador con posibilidad de comunicación I2C, como el 16F876. La utilización del 16F876 nos puede permitir desarrollar más el ejemplo incluyendo un visualizador LCD e ir siguiendo la lectura de temperatura en todo momento.

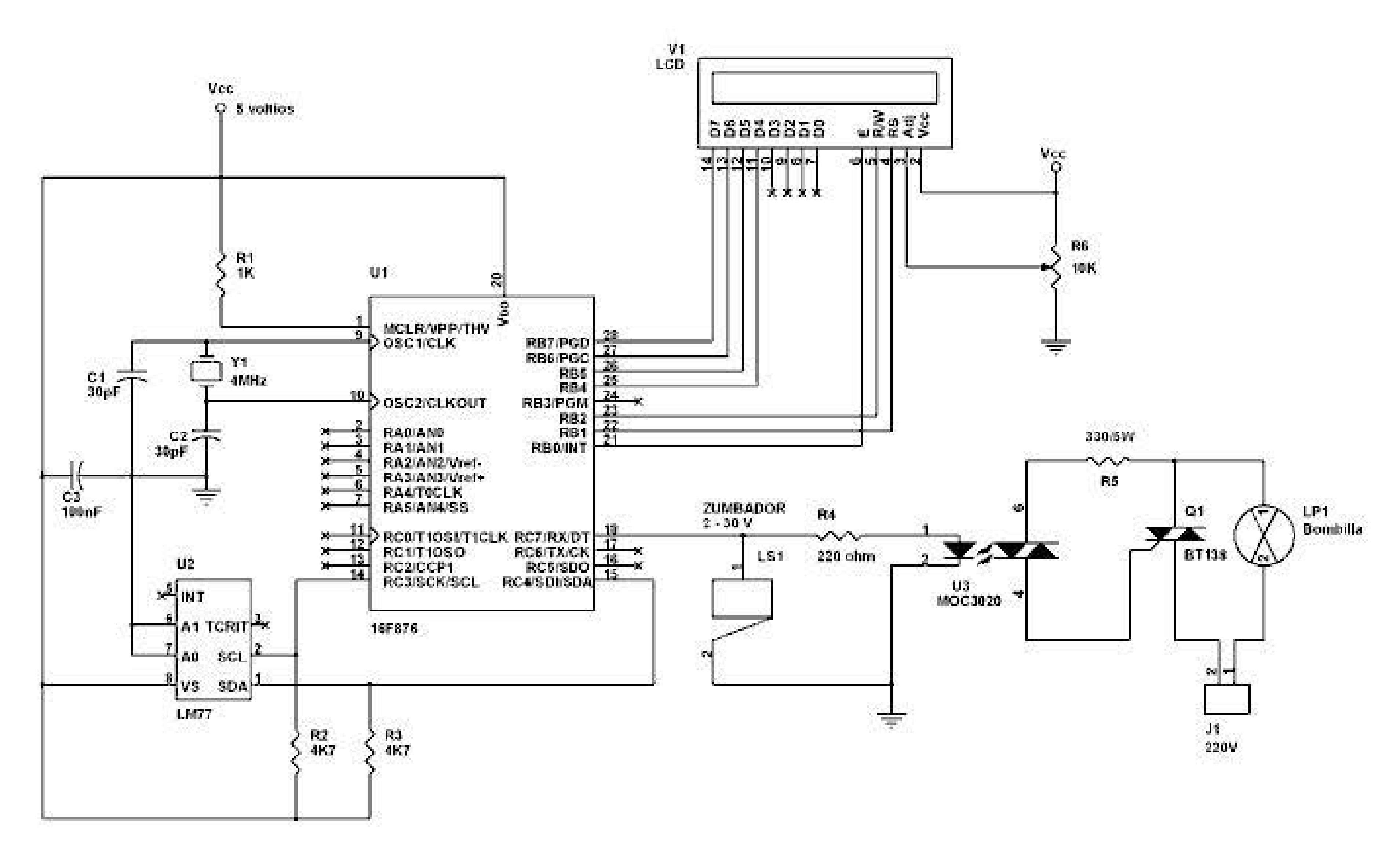



**Figura 6.6. Circuito para el control y visualización de temperatura mediante el LM77**

### Ajustes

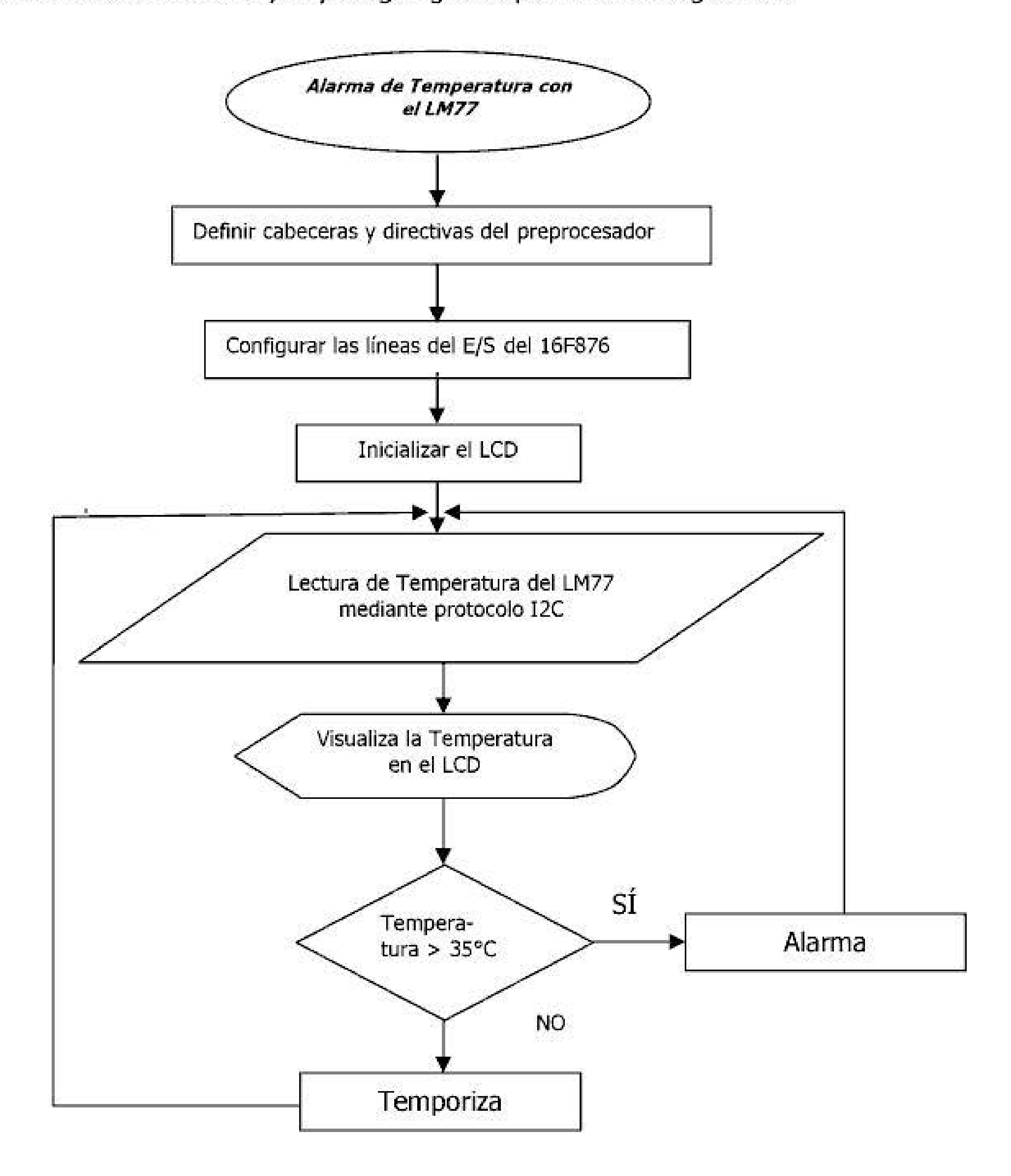
Conociendo la estructura y el funcionamiento del sensor LM77, vemos en la *Figura 6.6* cómo se puede conectar a un microcontrolador 16F876 que tiene implementado el recurso de comunicación I2C, por lo que no hará falta otra cosa que conectar las líneas SDA y SCL de ambos dispositivos y las respectivas alimentaciones. Ya sabemos que el sensor de temperatura entregará la información en datos de 9 bits más el de signo, por ello se deben recoger los datos correspondientes a las temperaturas que se quieran manejar, en nuestro caso la temperatura a la que debe sonar el zumbador y encenderse la bombilla es de 35 ºC. Para ello procederemos a calentar el sensor con un termómetro junto al mismo y cuando se tengan 35 ºC se procederá a almacenar esa lectura en un registro del microcontrolador. Las líneas A0 y A1 del LM77 se llevan a masa "0" para el direccionamiento del mismo "10010**00**".

**Funcionamiento**

Una vez tengamos almacenado el valor en binario correspondiente a la lectura de 35 ºC, el PIC 16F876 será el encargado de controlar los valores de temperatura que lee del LM77 y en el instante en que se supere dicho valor, sacará por la patilla RC7 un nivel alto "1" para producir la señal de alarma.

Como ampliación del circuito se puede conectar un visualizador LCD a las líneas RB0-7 y RA0-2, para poder ver la temperatura en cada momento.

Todo esto debe obedecer a un programa estructurado que previamente se grabará en el microcontrolador y cuyo organigrama podría ser el siguiente:



Seguidamente se muestra el código del programa en lenguaje C:

```
#include<16F876A.h>
#include<LCD.c>    //LIBRERÍA DE LAS FUNCIONES DEL LCD
#include<string.h>  //LIBRERÍA PRESENTACIÓN EN PANTALLA (printf)
#use delay(clock=4000000)
#use i2c(master,sda=PIN_C4,scl=PIN_C3)//DIRECTIVA COMUNICACIÓN I2C
#fuses XT,NOPROTECT,NOWDT,NOBROWNOUT,NOLVP//PROGRAMA LA GRABACIÓN
#byte port_b=6
#byte port_C=7
#bit aviso=7.7
#bit RB3=6.3

int temp1,temp2,temperatura;  //VARIABLES  RECOGIDA DE TEMPERATURA
int alarma=0x23;              //VALOR DE TEMPERATURA 35°C PARA ALARMA

main()
{
set_tris_b(0x00);       //CONFIGURA PUERTO B COMO SALIDAS
set_tris_c(0x08);       //CONFIGURA PUERTO C COMO SALIDAS,EXCEPTO
                        //RC4-SDA, QUE ES ENTRADA DE DATOS
port_b=0;               //BORRA PUERTOB
lcd_init();             //INICIALIZA LCD

while(1)
        {
        RB3=1; //BIT TEST EN RB3
        delay_ms(500);
        RB3=0;

        i2c_start();   //CONDICIÓN ARRANQUE MODO I2C
        i2c_write(0x91);       //DIRECCIÓN LECTURA LM77 1 0 0 1 0 A1 A0
R/W
        delay_ms(80);  //TIEMPO DE ADQUISICIÓN
        temp1=i2c_read();      //LECTURA BYTE MÁS SIGNIFICATIVO
        temp2=i2c_read();      //LECTURA BYTE MENOS SIGNIFICATIVO
        delay_ms(80);
        i2c_stop();            //PARA COMUNICACIÓN I2C

        rotate_right(&temp2,1);        //SE ELIMINAN LOS TRES BITS DE
        rotate_right(&temp2,1);        //MENOS PESO DEL BYTE MENOS
        rotate_right(&temp2,1); //SIGNIFICATIVO

        if(bit_test(temp1,0==0))//SE MIRA SI SON CERO O UNO LOS
                {                      //3 BITS DE MENOR PESO DEL BYTE
                bit_clear(temp2,5);// MÁS SIGNIFICATIVO Y SE
                }                       // PONEN EN EL ORDEN QUE
                                       //CORRESPONDE EN EL BYTE MENOS
        Else                           //SIGNIFICATIVO (5-6-7)
                {
                bit_set(temp2,5);
                }

        if(bit_test(temp1,1==0))
                {
                bit_clear(temp2,6);
                }
        else
                {
```

```
                bit_set(temp2,6);
                }

        if(bit_test(temp1,2==0))
                {
                bit_clear(temp2,7);
                }
        else
                {
                bit_set(temp2,7);
                }
        temperatura=(temp2)/2;
        printf(lcd_putc,"\fTRA: %d C",temperatura);//AJUSTE
                                                //SEGÚN TABLA FABRICANTE
        delay_ms(2000);

        if(temperatura>alarma)
                {
                aviso=1;        //AVISO ALARMA
                }

        delay_ms(2000);         //REATARDA 2S. PARA NUEVA LECTURA
        aviso=0;
        }
}
```

## 1.7. PROPUESTA Y OTROS DISPOSITIVOS

En el circuito del LM335 *(Figura 6.3)*, se plantea la siguiente propuesta:

*Dado que cuando la temperatura baje, debe alcanzar el mismo punto para que la luz se apague y el zumbador deje de sonar, es decir, que la tensión en la patilla (3) del operacional vuelva a ser menor que la de la patilla (2), se propone diseñar un circuito que mediante un ciclo de histéresis haga que la alarma cese al descender la temperatura hasta la temperatura fijada como la de ambiente (25 ºC).*

*Una vez funcionando el circuito se debe realizar una tabla con las tensiones en las patillas 2, 3 y 6 del operacional con referencia a masa, entre la patilla 1 y 2 del optotriac y en los extremos de la resistencia R5. Así mismo medir las corrientes por R4, R5 y LM335.*

**Otros dispositivos de mercado**

| Referencia | Características | Encapsulado |
|---|---|---|
| KTY81-110 | Sensor de coeficiente positivo de temperatura<br>Rango de -55 ºC a 150 ºC | SOD 70 |
| SMT16030 | Sensor digital de temperatura<br>Rango de -45 ºC a +130 ºC | TO92 TO18 TO220<br>bottom view<br>1 Output<br>2 + Vcc<br>3 GND |
| DS1620 | Sensor digital de temperatura 9 bits<br>Rango de -55 ºC a +125 ºC | DQ, CLK/CONV, RST, GND, $V_{DD}$, $T_{HIGH}$, $T_{LOW}$, $T_{COM}$<br>DS1620 8-Pin DIP (300-mil) |

**Figura 6.7. Diferentes sensores de temperatura**

# MÓDULOS TERMOELÉCTRICOS



## 1.1. INTRODUCCIÓN

La **termoelectricidad** se considera como la rama de la termodinámica superpuesta a la electricidad donde se estudian fenómenos en los que intervienen el calor y la electricidad. El fenómeno más conocido es el de los **termopares**, que son dispositivos resultantes de la unión de dos metales diferentes (hierro-constantan, cobre-constantan, antimonio-bismuto), de manera que si una de las uniones se mantiene a una temperatura superior a la otra, surge una diferencia de tensión que hace fluir una corriente eléctrica entre ambos materiales. Este fenómeno fue observado por primera vez en 1821 por el físico alemán **Thomas Seebeck**, y se conoce como efecto *Seebeck*, concluyendo que para una pareja de materiales determinada, la diferencia de tensión es directamente proporcional a la diferencia de temperaturas.

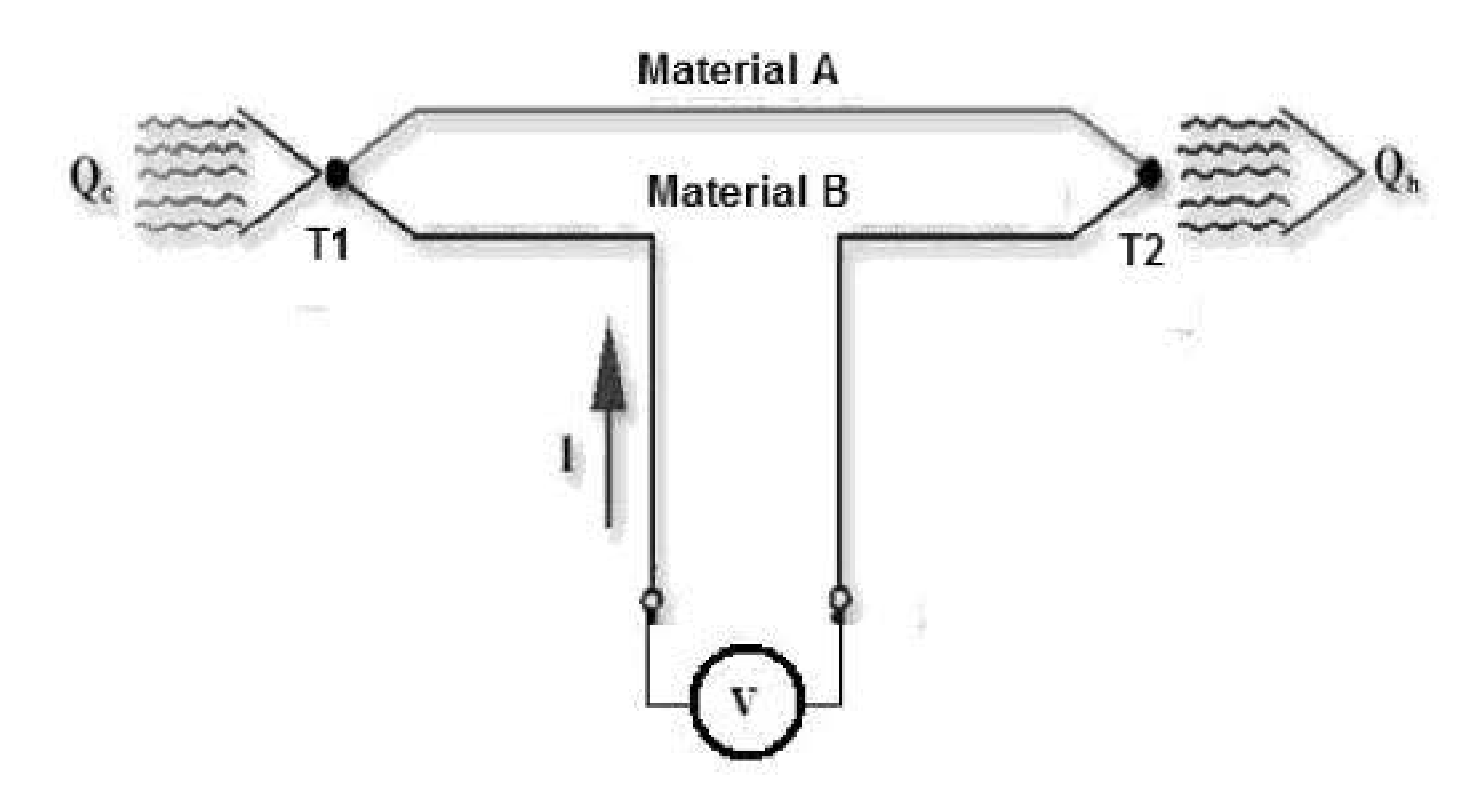



**Figura 7.1. Unión de termopares**

Los **módulos termoeléctricos (TE)**, son componentes electrónicos basados en la filosofía de funcionamiento de los termopares aunque al contrario, es decir, en estos módulos al aplicarles una pequeña tensión continua (DC), se crea un diferencial térmico entre las dos caras del componente, de manera que una cara del módulo se enfría mientras que la otra se calienta al mismo tiempo. Es importante destacar que este fenómeno es reversible, simplemente cambiando la polaridad de la fuente. Como consecuencia un módulo TE puede usarse para calentar o enfriar.

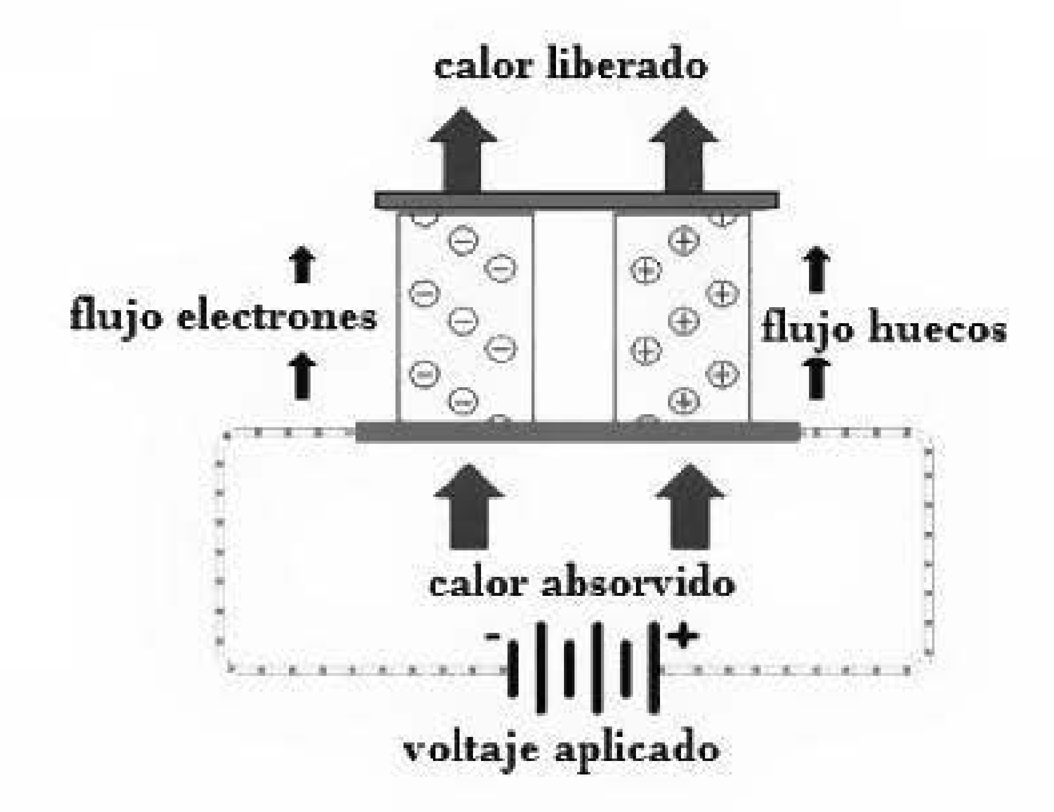



**Figura 7.2. Funcionamiento de un módulo termoeléctrico**

## 1.2. LAS CÉLULAS PELTIER

Dentro de los módulos termoeléctricos comerciales los más extendidos son las Células Peltier, siendo su aplicación más frecuente la de refrigerar, sobre todo en uso industrial y científico.

**Jean Peltier** descubrió en 1834 que haciendo pasar una tensión continua a través de las superficies de contacto de dos elementos conductores distintos, por un lado se absorbía calor (lado frío) y por el otro lado se generaba calor (lado caliente). A esta particularidad se le denominó efecto Peltier.

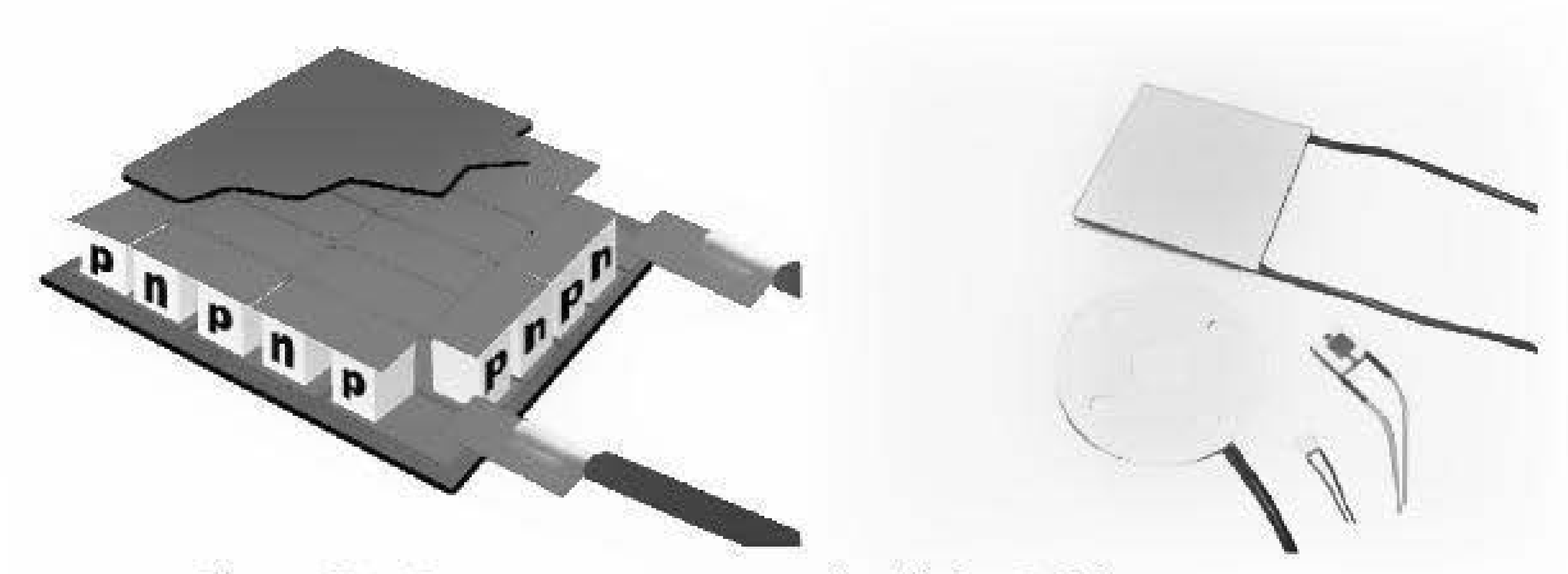


**Figura 7.3. Estructura y aspecto de células Peltier**

Entre las características a destacar de las células peltier encontramos que tienen un tamaño y peso muy reducidos, soportan sin problemas golpes y vibraciones, se pueden utilizar en cualquier posición y permiten regular la potencia frigorífica variando simplemente la tensión de alimentación.

Actualmente se fabrican este tipo de módulos en base a la potencia que son capaces de generar, así podemos encontrar módulos comerciales que van desde los 0,5 W hasta más de 400 W, y cuyo tamaño varía desde los 2,5 $cm^2$ hasta 36 $cm^2$. Su rendimiento óptimo se alcanza con temperaturas diferenciales entre sus caras de unos 70 ºC.

De esta manera, para una célula peltier comercial como la **MCPE1-07108AC-S**, de 9 $cm^2$ de superficie, tenemos que genera una potencia de 41,3 W con una temperatura diferencial de 70 ºC (rango de temperaturas -40 a +100 ºC) y pudiendo trabajar con una corriente máxima de 8,5 A y una tensión de 8,8 V.

Para obtener mayor rendimiento se suelen asociar estos módulos tanto en serie como en paralelo, de manera que una configuración típica es la de pirámide *(Figura 7.4)*, así se enfrentan las caras de temperaturas similares para generar un mayor diferencial térmico.

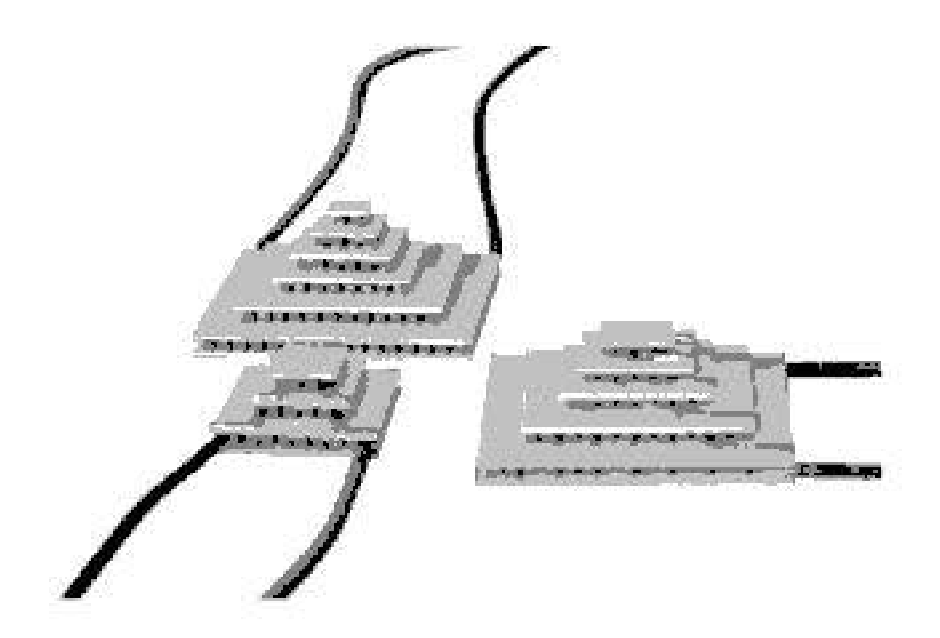


**Figura 7.4. Asociación piramidal de módulos Peltier**

Entre sus aplicaciones encontramos las cámaras de ensayos climáticos, neveras para automóvil, refrigeradores para CPU en ordenadores personales, aplicación de frío local en traumatología, etc.

*Se debe hacer notar que atendiendo al efecto Seebeck mencionado en la introducción, una célula peltier si es sometida a un diferencial térmico entre sus caras, generará una fuerza electromotriz entre sus terminales que será directamente proporcional a la diferencia de temperatura entre dichas caras.*

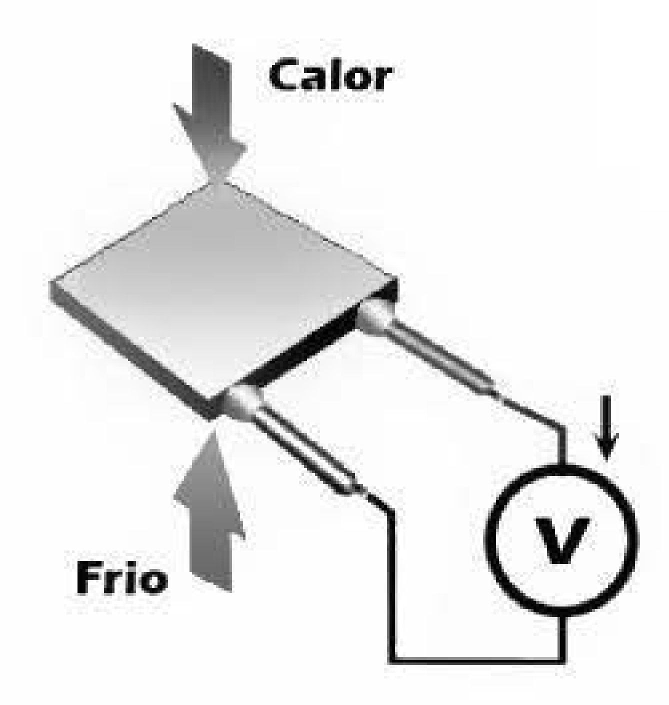



**Figura 7.5. Efecto Seebeck en una célula Peltier**

## 1.3. CIRCUITO DE APLICACIÓN CON UN MÓDULO PELTIER

Como ya se ha comentado entre las aplicaciones de las células peltier tenemos la de refrigeración, por tanto vamos a plantear un circuito que sirva para disipar el calor generado en una etapa de potencia de un amplificador de audio. La célula a utilizar sería la peltier de 88 W cuya referencia comercial es **MCHPE-128-10-05-E**.

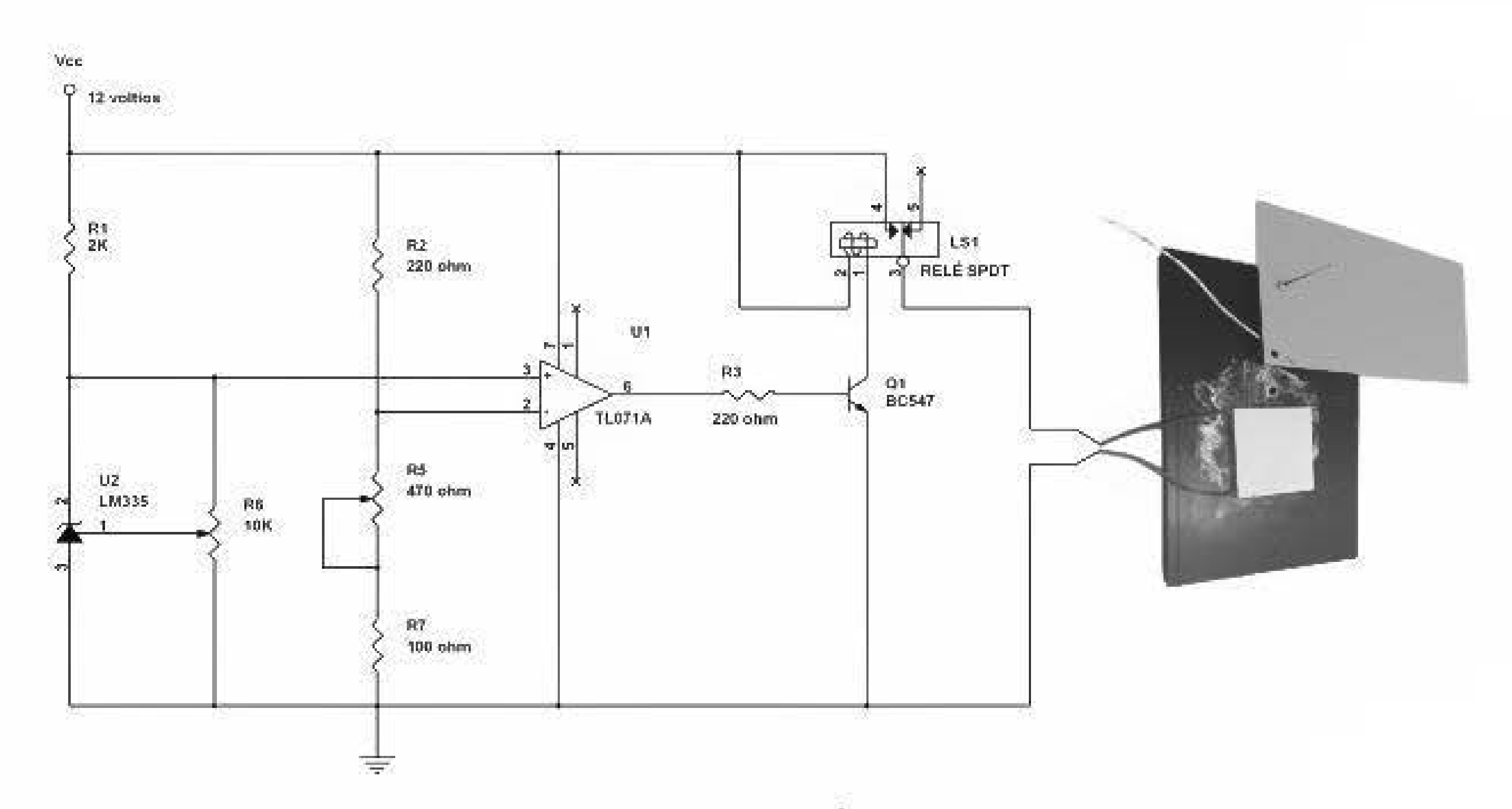



**Figura 7.6. Circuito de refrigeración mediante Peltier**

**Ajustes**

- Conformamos un divisor de tensión entre el LM335 y la resistencia R1, de manera que en la patilla no inversora (3) del amplificador operacional TL071, se establezca una tensión fija a la temperatura de trabajo ambiente (25 ºC), para ello utilizaremos el potenciómetro de ajuste R6 y según el fabricante se deberían obtener 2,982 V a 25 ºC.
- Seguidamente se debe fijar una tensión en la patilla inversora (2) que corresponda a la que debe haber en la patilla no inversora cuando se alcance la temperatura crítica para el circuito integrado de potencia de la etapa amplificadora. Si esta temperatura crítica es de 40 ºC, como el LM335 aumenta su tensión a la salida en 10 mV por cada grado centígrado, la tensión en la patilla inversora debe ser 150 mV superior a la patilla (3), es decir 3,132 V.

**Funcionamiento**

Realizados los ajustes anteriores, la salida del operacional debe ser de 0 voltios, por lo que el transistor estará cortado y el relé permanecerá en reposo. Ahora bien, cuando la temperatura en la etapa de potencia supere los 40 ºC, la tensión de la patilla no inversora (3) pasará a ser mayor que la de la inversora (2), haciendo que el operacional proporcione a su salida +Vcc. Esto hará que el transistor se sature activando a su vez el relé, de manera que llegará tensión al módulo peltier, el cual enfriará el integrado de la etapa amplificadora.

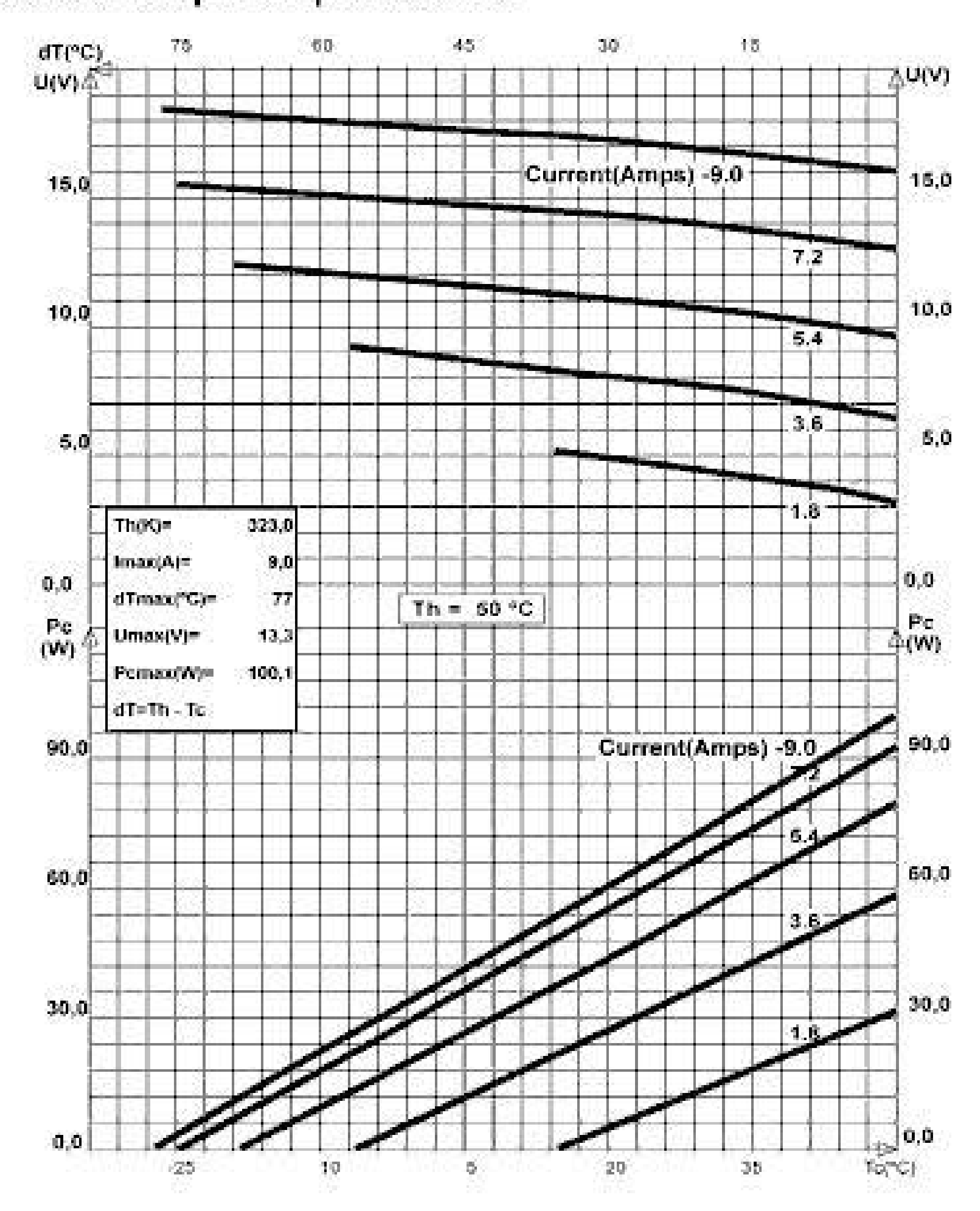



**Figura 7.7. Curvas de funcionamiento de una Peltier de 88 W**

Cuando la temperatura descienda por debajo de los 40 ºC el relé volverá a su estado de reposo.

La célula peltier debe estar fijada al disipador donde se encuentre el circuito amplificador de potencia y además se le pondrá cola termoaislante.

La *Figura 7.7* muestra la gráfica proporcionada por el fabricante MULTICOMP para un módulo Peltier de 88 W.

## 1.4. PROPUESTA Y OTROS DISPOSITIVOS

Realmente en el circuito de aplicación hemos utilizado la célula termoeléctrica como un circuito actuador más que como un sensor, por ello, y aprovechando el efecto reversible de los módulos peltier, vamos a proponer que se utilice como **sensor generador** mediante la siguiente experiencia:

- Tomar dos módulos peltier de 45 W asociados en serie y fijarlos a un disipador de aluminio.
- Mantener un lado a temperatura ambiente y calentar el otro mediante un soldador o resistencia eléctrica.
- Con un multímetro medir la tensión y la corriente a varios diferenciales térmicos, 20, 30, 40, 50, 60 y 70 ºC.

Esta experiencia nos dará idea de las diferencias de potencial y corrientes que nos puede proporcionar esta asociación de células termoeléctricas, y en base a ello se pueden buscar las aplicaciones que se crean convenientes: alarmas de incendio, termostatos, etc.

**Otros dispositivos de mercado**

| Referencia | Características | Encapsulado |
|---|---|---|
| RC12-2.5-01LS | Módulo Termoeléctrico<br>23 W<br>Imax= 2,5 A | |
| NL4012T-03BC | Cuádruple módulo Termoeléctrico<br>0,86 W<br>Imax= 1 A | |

**Figura 7.8. Diferentes módulos TE**

# SENSORES DE HUMEDAD



## 1.1. INTRODUCCIÓN

La humedad expresa la cantidad de agua que existe en un medio determinado, ya sea líquido, sólido o gaseoso. Conocer esta cantidad o concentración de agua puede ser muy útil para determinados propósitos, ya que podría influir en el funcionamiento de procesos industriales, alimentarios, agrícolas, o en la duración de ciertos elementos incorporados a electrodomésticos, vehículos, telefonía, etc.

La forma de referirse a esta magnitud es de diversas maneras:

**Humedad absoluta:** es la razón entre la masa de agua presente en el medio (en kg), y el volumen (en $m^3$) de dicho medio.

**Humedad específica:** es la razón entre la masa de agua y la masa de sustancia seca presentes en el medio (ambos expresados en kg).

**Humedad relativa:** es la cantidad de agua que contiene un gas expresada en tanto por ciento de la cantidad que el gas tendría en estado de saturación, a la misma temperatura y presión absoluta.

$$H_r = \frac{P_v}{p_{sat}} 100(\%)$$

Para obtener información y medidas de la humedad, sobre todo de la relativa, se han desarrollado sensores de condensación, electrolíticos, resistivos, capacitivos, etc. Los sensores de tipo capacitivo son los más utilizados en electrónica, así como en meteorología.

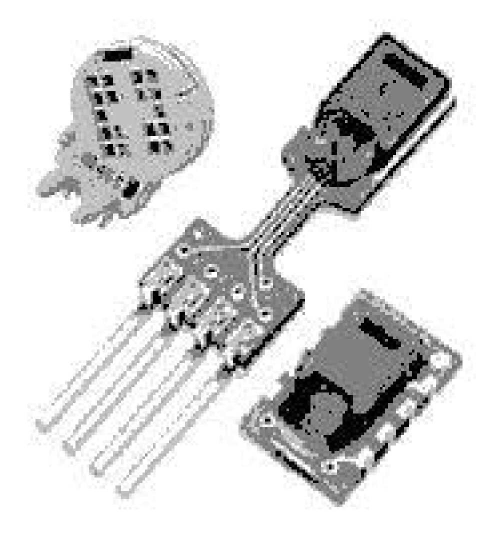


**Figura 8.1. Varios sensores de humedad**

## 1.2. EL SENSOR DE HUMEDAD HCH1000

El HCH1000 es un sensor del tipo capacitivo diseñado para medir la humedad relativa, el cual se basa en el principio del cambio que sufre la capacidad de un condensador al variar la constante dieléctrica del mismo. Para convertir el cambio de la capacidad a una variable eléctrica se puede utilizar un puente de Wheatstone de condensadores, un circuito resonante o un oscilador astable que varíe su frecuencia conforme los cambios que produzca la humedad en un condensador.

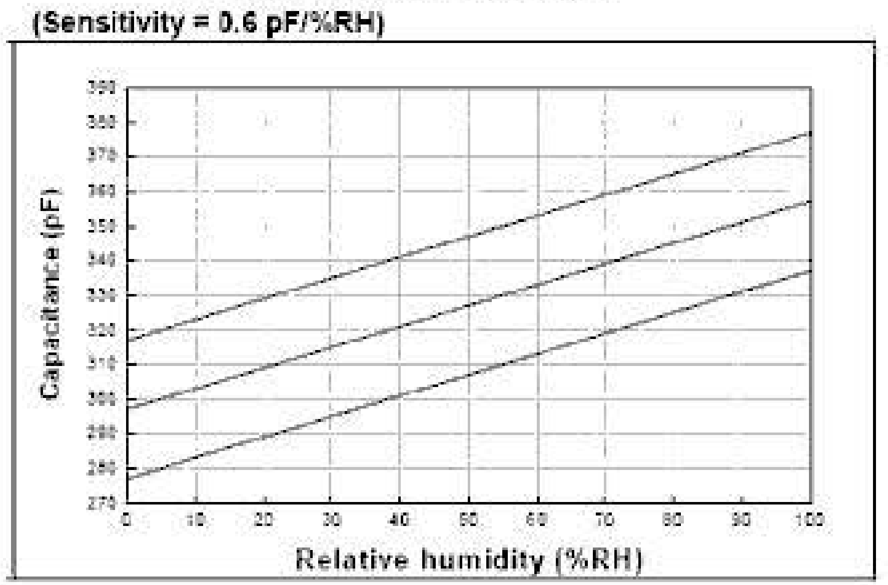
Como características encontramos que está fabricado con semiconductores, es bastante inmune a las variaciones de temperatura y su respuesta es rápida. Entre sus aplicaciones tenemos las estaciones meteorológicas, en automoción, medicina, deshumidificadores, etc.

La *Figura 8.2* muestra las características más importantes dadas por el fabricante de este sensor.

**SPECIFICATIONS ($T_A$= 25 °C [77 °F], Input Voltage = 1 $V_{RMS}$, Frequency = 20 kHz)**

| Characteristic | Min. | Typ. | Max. | Unit | Note |
|---|---|---|---|---|---|
| Normal capacitance | 310 | 330 | 350 | pF | at 55% RH |
| Sensitivity | 0.55 | 0.60 | 0.65 | pF/%RH | 10% RH to 95% RH |
| Humidity hysteresis | – | ±2 | – | %RH | – |
| Linearity | – | ±2 | – | %RH | – |
| Response time | – | 15 | – | sec | 30% RH to 90% RH |
| Temperature coefficient | 0.15 | 0.16 | 0.17 | pF/°C | 5 °C to 70 °C [41 °F to 158 °F] |
| Long-term stability (drift) | – | 0.2 | – | %RH/year | – |
| Operating temperature range | -40 [-40] | – | 120 [248] | °C [°F] | – |
| Operating humidity range | 0% | – | 100% | RH | – |
| Operating frequency range | 1 | – | 100 | kHz | – |



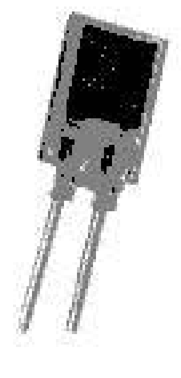



**Figura 8.2. Características del sensor HCH1000**

Como circuito acondicionador típico para los sensores de humedad capacitivos, podemos encontrar el integrado 555, utilizado en su configuración como multivibrador astable *(Figura 8.3)*. El HCH1000 formará parte de la red RC responsable del periodo de la señal de salida, de manera que dicha señal evolucionará en función de las variaciones que experimente la capacidad del sensor respecto de la humedad relativa del medio (%RH).

$$t_H = \ln 2.\ (R1+R2).\ C\ (\%RH)$$

$$t_L = \ln 2.\ R2.\ C\ (\%RH)$$

$$T = t_H + t_L\ ;\quad F = 1/T$$

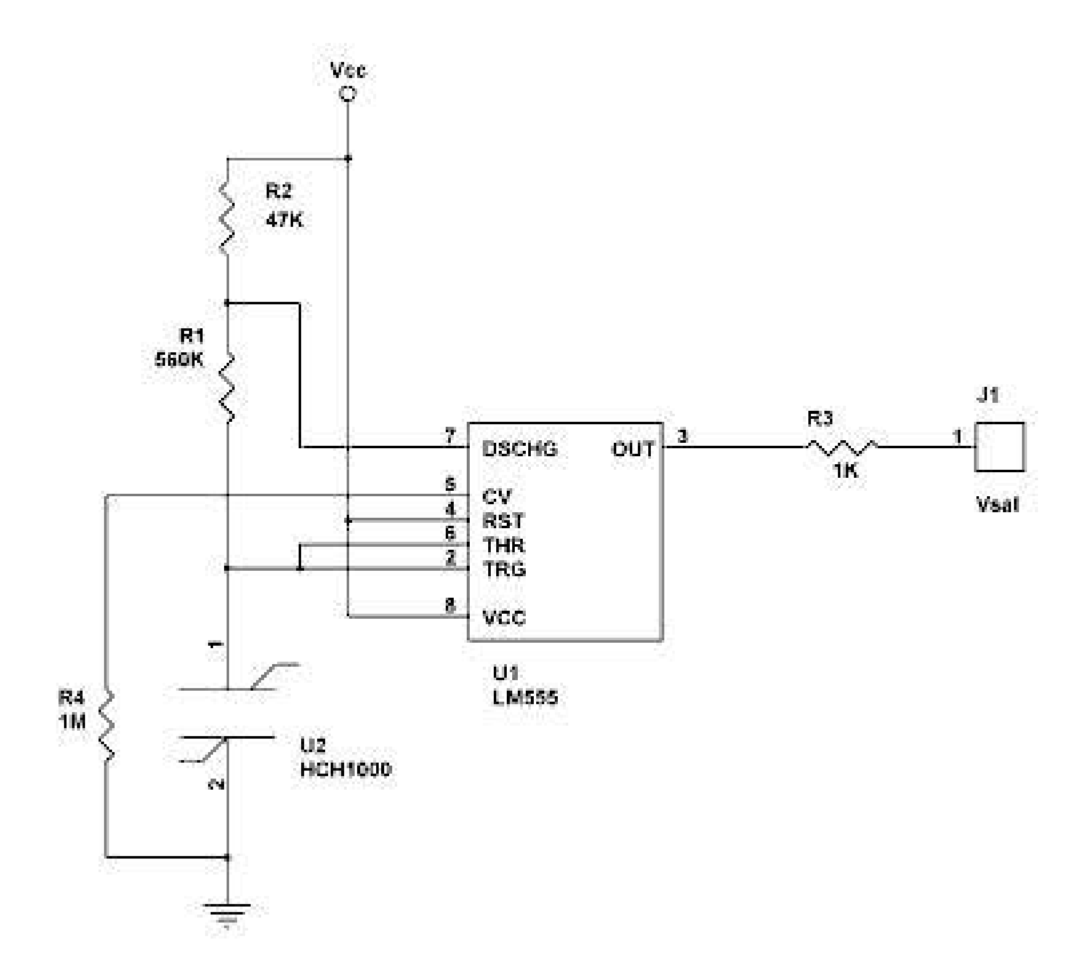



**Figura 8.3. Circuito acondicionador para el HCH1000**

Si nos fijamos en las curvas características del fabricante y tomamos la curva central, vemos que para una humedad relativa del 10% el valor capacitivo del sensor es aproximadamente de 305 pF, al 55% de unos 330 pF y al 90% de unos 350 pF. Con estos valores y otros que se pueden tomar de la referida curva característica, podemos saber las frecuencias que obtendríamos si el sensor se utiliza dentro de un circuito oscilador astable, sólo es necesario sustituir los valores en las ecuaciones anteriores:

$t_H$= ln2. (560 K+47 K). 305pF, para el 10%RH

$t_H$= 0,128 ms

$t_L$= ln2. 47 K. 305 pF

$t_L$=0,099 ms

T=0,227 ms

**F= 4,4 kHz**, será la frecuencia obtenida para una humedad relativa del 10%.

Repitiendo los cálculos anteriores obtendremos que para una humedad relativa del 55% la frecuencia es de **4 kHz** y de **3 kHz** para el 90%.

La salida del acondicionador puede ser procesada mediante un convertidor de frecuencia en tensión (**LM2917N**), o bien mediante un microcontrolador (**16F876**), de esta manera se nos facilitaría mucho la posibilidad de llevar a un visualizador LCD los niveles de humedad relativa.

## 1.3. CIRCUITO DE APLICACIÓN CON EL HCH1000

El circuito que se presenta como aplicación del sensor de humedad HCH1000 *(Figura 8.4)* utiliza un puente de Wheatstone de condensadores combinado con un amplificador operacional para indicar, mediante un diodo led, cuando la humedad relativa en el ambiente esté por encima del 55%.

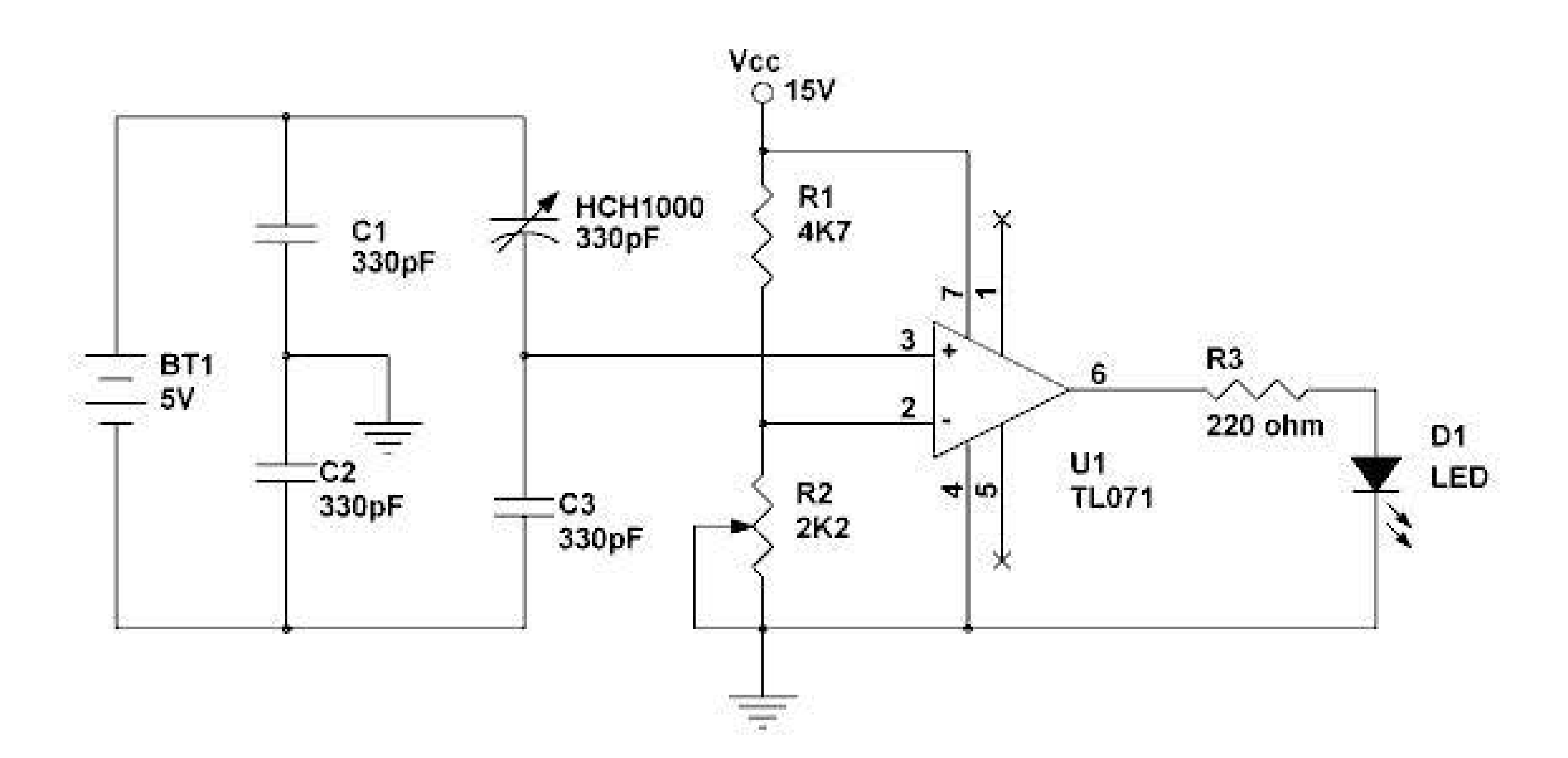



**Figura 8.4. Circuito para el control de humedad con el HCH1000**

### Ajustes

El ajuste ideal del circuito sería con una humedad relativa en el ambiente del 55%, a este nivel de humedad el sensor tendrá una capacidad de unos 330 pF, por lo que el puente estará en equilibrio y la salida sería de 0 voltios. Esta situación es difícil de tener, así que trataremos de que se recree una situación donde el nivel de humedad sea un poco superior al 55% y ajustemos el potenciómetro R2 para que la salida del amplificador sea +Vcc y por tanto el diodo led permanezca encendido.

### Funcionamiento

Según se ha visto en las características de este sensor de humedad, su capacidad varía entre unos 305 pF y 350 pF, dando una capacidad de unos 330 pF cuando la humedad relativa es del 55%. Realizados los ajustes, siempre que el nivel de humedad relativa esté por encima del 55%, la capacidad del sensor será superior a 330 pF, por lo que habrá un desequilibrio en el puente, y la tensión en la entrada no inversora del operacional superará a la fijada en la entrada inversora, así que la salida será de 15 V y el didodo led estará encendido. De igual manera, siempre que la capacidad del sensor sea inferior a 330 pF, aunque exista desequilibrio en el puente, la tensión en la entrada no inversora del operacional será inferior a la que exista en la entrada no inversora, por tanto la salida será de 0 voltios y el led estará apagado.

## 1.4. EL SENSOR DE HUMEDAD Y TEMPERATURA SHT71

Uno de los sensores más versátiles y utilizados en el mercado para medir humedad y temperatura es el **SHT71** de la casa Sensirion. Este dispositivo viene integrado en un encapsulado miniatura de 4 patillas (*Figura 8.5*), es de tipo digital, presentando lecturas en 8, 12 o 14 bits y cada uno ha sido calibrado de forma individual. Entre sus características tenemos que utiliza alimentaciones entre 2,4 V y 5,5 V, tiene un reducido consumo típico de 30 µW y su rango de trabajo es desde -40 °C a +123,8 °C. Entre sus aplicaciones más comunes están las estaciones climatológicas, humidificadores y equipos médicos.

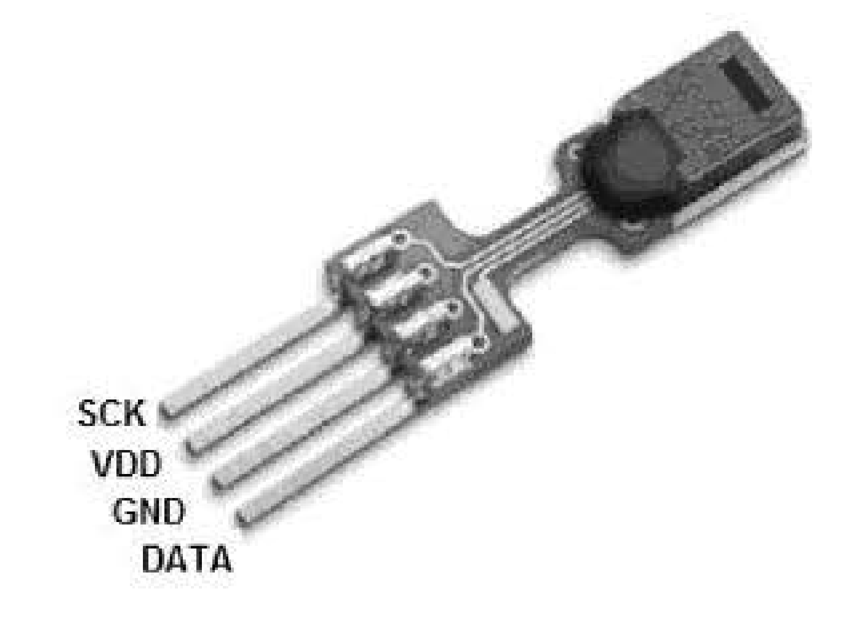



**Figura 8.5. Encapsulado y patillaje del SHT71**

El SHT71, así como la familia SHTXX, utilizan dos líneas para la transmisión de la información. Una de ellas SCK como señal de sincronismo (reloj) y otra DATA para la transmisión de instrucciones y datos. Es por tanto una comunicación del tipo serie síncrona pero particular, así que no es compatible con los protocolos estándar que incorporan los microcontroladores, sino que dicho protocolo debe ser desarrollado por el programador.

Seguidamente se detallan los pasos a seguir para desarrollar el protocolo de comunicación:

**Reset de Hardware**: poner DATA=1 y dar 9 pulsos de reloj (2 µs cada pulso).

**Inicialización**: realizar la secuencia SCK=0 y DATA=1, SCK=1 y DATA=0, SCK=0 y SCK=1, DATA=1 y SCK=0.

**Comando**: es necesario indicar al sensor qué operación se va a realizar según la tabla siguiente.

| Comando | Código |
|---|---|
| Lectura de Temperatura | 00000011 |
| Lectura de Humedad | 00000101 |
| Lectura del Registro de Estado | 00000111 |
| Escritura del Registro de Estado | 00000110 |
| Reset por Software | 00011110 |

Cuando un comando es enviado por el microcontrolador, habrá que esperar hasta un noveno pulso de reloj para que la línea DATA quede liberada por parte del sensor.

**Medición**: el proceso de medición es algo más elaborado aunque no por ello complejo.

1. Crear un retardo en función del número de bits en el que se realice la medición: 20ms-80ms-320ms para 8-12-14 bits respectivamente.
2. Esperar a que el sensor envíe en cero por la línea DATA (ACK), indicando que ha completado la medida.
3. Comenzar por parte del microcontrolador a recibir los bits, poniendo éste la línea DATA a uno cada vez que se complete un byte. La información será siempre en dos bytes, al que seguirá otro byte de CRC, no obstante, el microcontrolador puede parar la secuencia para no recibir el CRC poniendo DATA a uno.
4. El fabricante recomienda esperar al menos 10 segundos entre medidas.

**Conversión**: las medidas realizadas requieren de una conversión o linealización que responden a las siguientes ecuaciones.

**Temperatura= $D_1 + D_2$ . Valor medido_T**

**$RH_{Lin}$= $C_1 + C_2$ . Valor medido_H + $C_3$ . (Valor medido_H)$^2$**

**$RH_{Real}$= (Temperatura – 25) . ($T_1 + T_2$ . Valor medido_H) + $RH_{Lin}$**

| VDD (V) | $D_1$ |
|---|---|
| 5 | -40 |
| 4 | -39,75 |
| 3,5 | -39,66 |
| 3 | -39,60 |
| 2,5 | -39,55 |

| Valor medido_T | $D_2$ |
|---|---|
| 14 bits | 0,01 |
| 12 bits | 0,04 |

| Valor medido_H | $C_1$ | $C_2$ | $C_3$ | $T_1$ | $T_2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 12 bits | -4 | 0,0405 | $-2{,}8\times10^{-6}$ | 0,01 | 0,00008 |
| 8 bits | -4 | 0,648 | $-7{,}2\times10^{-4}$ | 0,01 | 0,00128 |

## 1.5. CIRCUITO DE APLICACIÓN CON EL SHT71

Dada la capacidad de este sensor y su posibilidad de trabajar con un microcontrolador, desarrollaremos un dispositivo que presente mediante un visualizador LCD, la temperatura y la humedad ambientales. La Figura 8.6 muestra el circuito eléctrico.

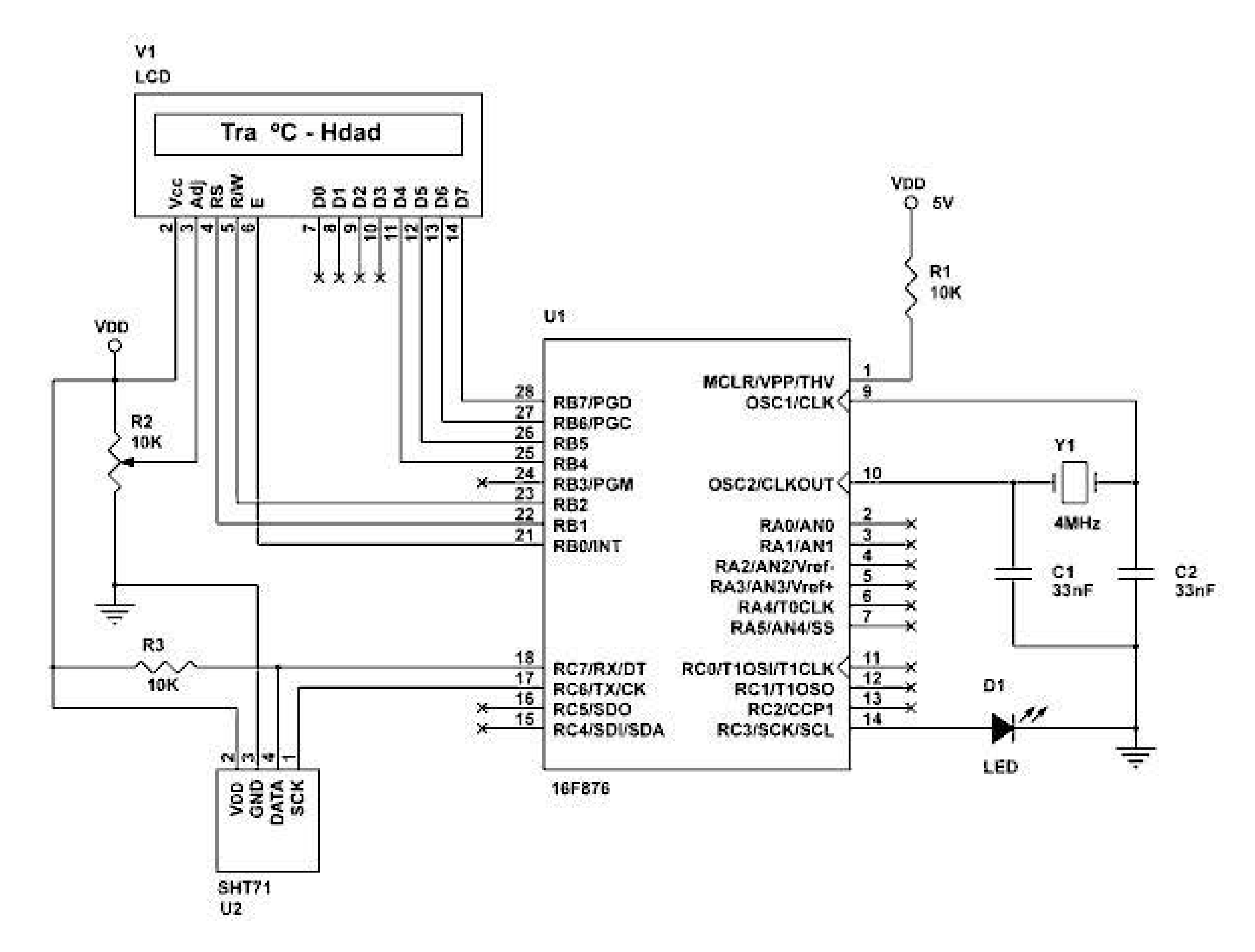



**Figura 8.6. Circuito de visualización de temperatura y humedad**

## Ajustes

Como ya se ha mencionado, el SHT71 viene calibrado de manera individual, por lo que no necesita ningún tipo de ajuste. La resistencia R3 es de pull-up y es necesaria. El diodo LED (D1) se utilizará como indicador para las medidas.

## Funcionamiento

El microcontrolador 16F876 hará las funciones de gobierno de la comunicación con el sensor, de manera que enviará las señales de reset, inicialización y comando, para después esperar a la medición y recibir los datos que se encargará de procesar realizando las operaciones de conversión para finalmente presentarlas en el LCD.

## Organigrama de control



**Figura 8.7. Organigrama del software de conversión y visualización**

You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

Para el siguiente programa que presentamos usaremos un sensor GP2D12 que colocaremos en la parte frontal del robot. Debemos tener en cuenta que el sensor que estamos utilizando mide a partir de 10 cm y para distancias menores, según podemos observar en la gráfica de la *Figura 16.40*, los valores obtenidos por el sensor pueden dar lugar a error. Colocaremos el sensor a unos 10 cm del borde de nuestro micro robot, para evitar el error, y lo conectaremos al canal analógico CHAN3. Ampliaremos las posibilidades del programa del apartado 1.7.6.2, que llamamos "HIPERACTIVO". Marcaremos una distancia que llamaremos V_DETEC, a partir de la cual el micro-robot considerará que tiene un obstáculo a su alcance. Como sólo utilizamos un sensor de distancia sólo podemos controlar lo que ve el campo de visión del sensor, en consecuencia nuestro programa sólo detectará los objetos que se encuentren en la parte delantera y reaccionará de la misma forma que lo hacía cuando colisionaba con los dos bumpers en el ejemplo de HIPERACTIVO.

```
//****************************************************
//** Nombre de Proyecto: HIPERACTIVO II
//** Realizado por: GRUPO ROBOTICA ORIOLBOT
//** E-mail: oriolbot@gmail.com
#include <16f876A.h>
#fuses XT,NOWDT,NOPROTECT
#use delay(clock=4000000)//escribir en hercios la frecuencia del cristal
#USE STANDARD_IO (B)
#include <movil.c>
#include <sensores.c>
//DECLARACION DE CONSTANTES
#define PULSADO0
#define SIN_PULSAR     1
#define T_ATRAS 200
#define T_GIRO 175
#define V_DETEC 15 // distancia a la que se reacciona si se
                      //detecta un obstáculo
/* datos de calibracion del IR */
#define IR_DISTANCIA_BASE   10 //distancia base
#define PASO_DISTANCIA   2     //salto de distancia entre
                               //valores de la tabla
#define NUM_DATOS      31       //número de valores de la tabla
#define SENSOR_IR              CHAN3 //canal analógico al que
                                            //conectamos el sensor
/* Prototipos de funciones */
int distancia_sensor(int );

//DECLARACIÓN DE VARIABLES
static const int datos_ir_calib[NUM_DATOS] = {124, 107, 93, 83, 75, 67,
62, 57, 53, 49, 47, 44, 42, 39, 38, 36, 34, 33,      32, 30, 29, 28, 27,
26, 25, 25, 24, 23, 23, 22, 21};
//variables globales
int distancia;

main()
{
SET_TRIS_A(0b00110000);
SETUP_ADC_PORTS(NO_ANALOGS);
SETUP_ADC(ADC_OFF);
SET_TRIS_C(0b00000000);
contacto();     //Damos al contacto
salida_off(O1);
SALIDA_OFF(O2);
movil(ADELANTE);        // Nos ponemos en marcha hacia delante
for(;;)         //indefinidamente
{
```

# Guía Práctica de Sensores

Los dispositivos que incorporan sensores están presentes tanto en instrumentación profesional y nuevas tecnologías, como en aparatos de uso doméstico y personal. Así pues, el estudio de estos elementos aparece cada vez más en las diferentes áreas de la educación como Física y Tecnología en Educación Secundaria Obligatoria, Electricidad, Electrónica, Automoción, etc., en Ciclos Formativos tanto de grado medio como superior, y por supuesto en infinidad de carreras universitarias. Es por ello que se hace necesario un conocimiento no sólo teórico sino también práctico del funcionamiento, uso y aplicaciones de los sensores más habituales.

La obra sigue una dinámica eminentemente práctica a lo largo de sus 16 unidades, ofreciendo al inicio unas nociones teóricas del funcionamiento de cada sensor o grupo de sensores tratados, escogiendo uno genérico y de fácil adquisición en el mercado para su estudio, aportando información y características reales del fabricante, para finalmente desarrollar un circuito de aplicación real cuyo funcionamiento ha sido verificado. Al final de cada unidad aparece una propuesta para seguir investigando.

El contenido, con un formato muy didáctico, recoge desde los sensores más sencillos como son los de *contacto,* pasando por *fotoeléctricos*, de *temperatura*, *humedad*, *magnéticos* y otros de mayor complejidad como los de *aceleración*, *presión*, *infrarrojos*, de *gas* y *ultrasonidos*.

La obra se completa con una unidad final, la unidad 16, que propone y muestra cómo construir un microrrobot móvil en el que poner en práctica la utilización de un gran número de los sensores que se estudian dentro de las unidades que componen esta publicación.




ediciones@creacionescopyright.com
www.creacionescopyright.com


ISBN 978-84-92779-49-9